

**Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz**

(Direktor : Professor Dr. K. FUHR)

**UNTERSUCHUNGEN
ÜBER DAS ZUSAMMENWIRKEN EINIGER
DIE ARTIKULATION BESTIMMENDER FAKTOREN**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
den medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

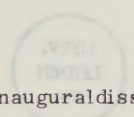
Ruth Schraidt-Hofmann
aus Hanau

Mainz 1975

Aus der Prothetischen Abteilung der Zahn-, Mund- und Kieferklinik
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

(Direktor: Professor Dr. med. dent. K. FUHR)

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS ZUSAMMENWIRKEN EINIGER
DIE ARTIKULATION BESTIMMENDER FAKTOREN



Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz den
Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

Ruth SCHRAIDT-HOFMANN
aus Hanau

Mainz 1975



Fachbereichsdekan: Prof. Dr. med. dent. K. FUHR
Referent: Prof. Dr. med. dent. K. FUHR
Korreferent: Prof. Dr. med. dent. H. MARX

Tag der mündlichen Prüfung: 17.12.1975

Inhaltsangabe

		<u>Seite</u>
1.	EINLEITUNG	5
2.	PROBLEMATIK	6
3.	MESSMETHODEN	11
	A. Modellen entnommene Größen	
3. 1.	Höckerwinkel	11
3. 2.	Tiefe der sagittalen Kompensationskurve (GYSI)	16
3. 3.	Winkel der sagittalen Kompensationskurve (GAUSS)	16
3. 4.	Transversale Kompensationskurve	21
3. 5.	Frontzahnstufe	23
3. 6.	Frontaler Überbiß	24
	B. Fernröntgenaufnahmen entnommene Größen	
3. 7.	Oberkieferincisalwinkel (kieferorthopädischer)	27
3. 8.	Unterkieferincisalwinkel (kieferorthopädischer)	27
3. 9.	Interincisalwinkel	28
3.10.	Oberkieferincisalwinkel (Okklusionsebene)	28
3.11.	Unterkieferincisalwinkel (Okklusionsebene)	28
	C. Am Patienten direkt gemessene Größen	
3.12.	Kondylenbahnneigung	29
4.	STATISTIK	31
4. 1.	Meßwerte	33
4. 2.	Mittelwerte und Standardabweichung	35

	<u>Seite</u>
4.2.1.	Formeln 35
4.2.2.	Errechnete Mittelwerte 37
4.2.3.	Vergleich mit Normwerten 37
4.3.	Lineare Korrelationsrechnung 39
4.3.1.	Formeln für einfache Korrelations- koeffizienten 39
4.3.2.	Formeln für multiple und partielle Korre- lationskoeffizienten 44
4.3.3.	Errechnete Korrelationskoeffizienten 47
4.3.4.	Diskussion der Ergebnisse der Korrelations- rechnung 51
4.3.4.1.	Elimination nicht korrelierender Variablen 51
4.3.4.1.1.	Transversale Kompensationskurve 51
4.3.4.1.2.	Tiefe der sagittalen Kompensationskurve 51
4.3.4.2.	Diskussion der Variablen des Frontzahnberei- ches 51
4.3.4.2.1.	Oberkiefer- und Unterkieferincisalwinkel 52
4.3.4.2.2.	Hinzunahme des Interincisalwinkels 52
4.3.4.2.3.	Hinzunahme des Überbisses 54
4.3.4.2.4.	Hinzunahme der Frontzahnstufe 58
4.3.4.3.	Abhängigkeitsstruktur im Frontzahnbereich 59
4.3.4.4.	Diskussion aller Variablen mit Ausnahme der Höcker 68
4.3.4.4.1.	Hinzunahme des Winkels der sagittalen Kompen- sationskurve 68
4.3.4.4.2.	Hinzunahme der Kondylenbahnneigung 72
4.3.4.5.	Abhängigkeitsstruktur der wichtigsten Größen 76
4.3.4.6.	Statistische Auswertung der sagittalen Höcker- winkel 77
5.	VERGLEICH DER EIGENEN ERGEBNISSE MIT DENEN AUS DER LITERATUR BEKANNTEN 82
5.1.	Kurzer Überblick über die Entwicklung der Ar- tikulationslehre 82
5.2.	Diskussion der Kompensationskurve 84
5.3.	Diskussion des Überbisses 87

		<u>Seite</u>
5.4.	Diskussion der Gelenkbahn	88
5.5.	Diskussion der Schneidezahnführung	89
5.6.	Diskussion der Höckerwinkel	89
5.7.	Betrachtung der HANAU'schen Quint und Diskussion von anderen Stellungnahmen	90
5.8.	Anregung zur Aufklärung von Abhängigkeiten	94
6.	ZUSAMMENFASSUNG	95
7.	LITERATUR	I - III
8.	LEBENS LAUF	

B e m e r k u n g e n

Um innerhalb der Arbeit bei Querverweisen auf Abbildungen und Formeln diese schnell finden zu können, wurde folgende Abbildungs- und Formelnumerierung verwendet:

Die Abbildungen werden innerhalb der Abschnitte dieser Arbeit bei 1 beginnend laufend durchnummeriert. Der erste Teil der Abbildungsnummer verweist dabei auf den Abschnitt, in dem die Abbildung zu finden ist. Die letzte Zahl der Abbildungsnummer gibt die laufende Nummer der Abbildung in dem bezeichneten Abschnitt an.

Zur Unterscheidung von Abschnittsnummern sind die Abbildungsnummern in Klammern gesetzt.

So verweist, um ein Beispiel zu nennen, die Abbildungsnummer (4.3.4.3.2) auf die 2. Abbildung im Abschnitt 4.3.4.3.

Die Seitenzahl, auf der der benannte Abschnitt beginnt, findet man im Inhaltsverzeichnis.

1. EINLEITUNG

Die Festlegung der Thematik der vorliegenden Arbeit beeinflussen in erster Linie folgende zwei Beweggründe:

- a) In der Literatur werden von verschiedenen Autoren widersprüchliche Aussagen über die Zusammenhänge zwischen den eine ideale Artikulation bestimmenden Faktoren getroffen. 1971 bedauert RAMFJORD (18) auf einer Tagung der Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, daß darüber immer noch keine generelle Einigung besteht.

So steht auf der einen Seite die klassische Artikulationslehre mit ihren Gründern GYSI (5, 6) und v. HANAU (7). Diese wurde später auf Grund von Messungen und klinischen Betrachtungen angezweifelt. Diese Seite wird u. a. vertreten von Max MÖLLER (15), NEVAKARI (16) und STEINHARDT (25).

Auf Grund eigener Messungen soll der Versuch unternommen werden, eine klärende Stellungnahme zu erlangen.

Bestimmte Überlegungen, die später dargelegt werden, führten zu Messungen von Gelenkbahn, sagittaler und transversaler Kompensationskurve, frontalem Überbiß, Frontzahnstufe, Oberkieferincisalwinkel, Unterkieferincisalwinkel, Interincisalwinkel und der sagittalen Höckerwinkel. Die hier betrachteten Faktoren sind annähernd mit denen der "Hauauschen Quint" zu vergleichen.

- b) Neben der Auswahl der Faktoren war weiterhin noch die Meßbarkeit der sagittalen Höckerwinkel und der sagittalen und transversalen Kompensationskurve zu klären.

2. PROBLEMATIK

Die ursprüngliche Themenstellung nach Prof. FUHR lautete: "Die Feststellung der Beziehungen zwischen Gelenkbahnneigung und Höckerneigung".

Wann kann die Frage nach dieser Beziehung von Bedeutung sein?

a) Bei der Herstellung der totalen Prothese.

Die Gelenkbahn kann ermittelt werden, und es stellt sich die Frage nach der Gestaltung der Kauflächen, ob Abrasionsgebiß oder strenge anatomische Verzahnung und weiterhin, mit welcher Höckerneigung erreicht man den besten funktionellen Ablauf?

b) Beim teilweise reduzierten Gebiß stellt sich auch die Frage der adäquaten Höckerneigung.

c) Beim Vollbezahnten mit pathologischer Okklusion, ob diese durch Anomalie oder durch iatrogene Eingriffe wie Füllungen oder Kronen bedingt ist. Hier stellt sich die Frage, wie man durch rehabilitierende Maßnahmen wieder eine physiologische Okklusion erreichen kann.

Spezieller Wunsch von Prof. FUHR war es, die sagittale Höckerneigung zu bestimmen mit der Hypothese, daß diese in direktem Zusammenhang mit der Kondylenbahnneigung stehen könnte.

Diese Vorstellung resultiert aus der Überlegung, daß bei der Protrusion des Unterkiefers und beim Gleiten aus der retrudierten Kontaktposition zunächst ein Aneinandergleiten der Zahnhöcker, und zwar der mesialen bzw. distalen Abhänge, erfolgt.

Bei der Protrusionsbewegung gleitet auch der Kondylus sagittal nach ventral und caudal. Die von ihm beschriebene Bahn wird als Gelenkbahn bzw. Kondylenbahn bezeichnet.

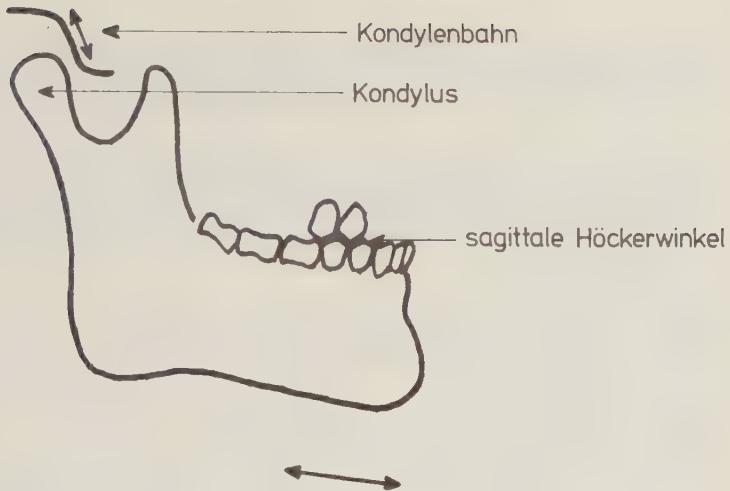


Abb. (2.1). Gleitflächen bei Protrusion des Unterkiefers

Zunächst stellt sich die Frage der Meßbarkeit. Um die Neigung der Kondylenbahn zu ermitteln, gibt es mehrere gängige Methoden. Es wurde die nach GERBER (4) gewählt.

Dagegen bereitet die Messung der Höckerneigung Schwierigkeiten. Im Gegensatz zu den in Abbildungen unterstellten idealen Verhältnissen sind bei den Molaren in der Regel keine ausgeprägten sagittalen Höckerwinkel anzutreffen, wie es folgende buccale Ansichten zeigen.



Abb. (2.2). Seitenansicht von Molaren

Zu den Ausnahmen gehören jugendliche Zähne, die noch nicht lange in Funktion stehen und somit noch nicht der Abrasion unterlagen.

Anders verhält es sich bei den Praemolaren, bei denen durchaus noch starke mesiale und distale Abhänge vorhanden sind. Diese Beobachtung führte dazu, daß in die Untersuchung nur Höckerwinkel der Praemolaren einbezogen wurden.

Weiterhin fiel auf, daß Probanden mit großem Frontzahnüberbiß bei der Vorschubbewegung des Unterkiefers gar keinen Kontakt mehr mit den Praemolaren und Molaren haben. In solchen Fällen ist keine direkte Korrelation zwischen Kondylenbahn und Höckerwinkel zu erwarten.

Es besteht aber die Möglichkeit, daß zwischen zwei Größen eine Korrelation besteht, die nicht direkt ist, sondern durch eine andere erst vermittelt wird oder daß eine dritte Größe als Störgröße auftritt und erst durch die Elimination ihres Einflusses die ursprüngliche Beziehung zwischen den ersten beiden in Erscheinung tritt.

Um nun möglichst viele Störgrößen und zusätzliche Faktoren, die die Artikulation bestimmen, zu erfassen, wurden neben der Kondylenbahn und der sagittalen Höckerneigung die im folgenden aufgeführten Größen gemessen: Die Winkelstellung der oberen und unteren Schneidezähne, der Interincisalwinkel, der frontale Überbiß, die Frontzahnstufe und die sagittale und transversale Kompensationskurve.

Die Muskulatur wurde bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt, da sie durch das okklusale Relief leicht beeinflussbar ist und man z. B. durch kleine Änderungen an diesem oder durch Entspannungsübungen ein anderes Bewegungsmuster erhält.

Eine Beziehung zwischen den untersuchten Größen zu suchen und später auf andere Fälle zu übertragen ist nur sinnvoll bei einem eugnathe Gebiß, das schon einige Zeit in Funktion gewesen ist.

Wenn hier von einem eugnathen Gebiß gesprochen wird, sollen im folgenden die Forderungen beschrieben werden, die beim Aussuchen der Probanden maßgeblich waren.

Der zu Untersuchende soll vollbezahnt sein. Eine Ausnahme sind die Weisheitszähne, da deren Durchbruchzeit zu sehr schwankt und sie selten voll in Funktion stehen, wenn alle anderen Zähne noch vorhanden sind.

Es dürfen keine Zähne im Kreuzbiß stehen oder stark gekippt oder torziert sein.

Das Gebiß darf keine formverändernde Karies bzw. Füllungen, Kronen oder Brücken aufweisen. Es kommen also nur Patienten mit höchstens facialen und approximalen Defekten in der Front und vestibularen und kleinen zentralen Defekten im Seitenzahngebiet in Frage.

Der Patient darf keine Gelenkbeschwerden haben. Es handelt sich somit um ein Gebiß mit einer physiologischen Okklusion.

Weiterhin soll es sich bei der Untersuchung um Gebisse handeln, die schon einige Jahre voll in Funktion gestanden haben, da es erst dann möglich sein könnte, daß sich Zähne der Gelenkführung entsprechend eingeordnet und abradiert oder daß im Kiefergelenk Umbauvorgänge der Zahnführung entsprechend stattgefunden haben könnten.

Die Altersspanne der Probanden reicht von 18 bis 30 Jahre. Mit 18 Jahren sind auch der Zwölfjahrmolar und Eckzahn ausreichend lange in Funktion. Bei Probanden über 30 Jahre besteht wiederum die Gefahr, daß die natürliche Abrasion schon weiter fortgeschritten ist, und zudem steigt die Wahrscheinlichkeit, daß mehr Zähne gefüllt sind oder sogar fehlen. Auch aus statistischen Gründen vermindert sich die Zahl der möglichen Störgrößen bei einer kleineren Altersspanne.

Bei der Probandenauswahl zeigten sich unerwartete Schwierigkeiten, denn es gibt nur wenige, die den genannten Forderungen entsprechen. Oft sind mehrflächige Füllungen vorhanden oder es fehlen, selbst in kariesresistenten Gebissen, Zähne, die im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung gesteuert extrahiert wurden. Im Kreise der Zahnmedizinstudenten war noch, wie sich herausstellte, ein relativ hoher Prozentsatz von geeigneten Probanden zu finden. Von etwa 80 Angesprochenen erwiesen sich 14 als geeignet.

Um an ein größeres Probandengut zu gelangen, die ein Alter zwischen 20 und 30 Jahren haben, wurde bei Angehörigen der Bundeswehr nach geeigneten Probanden gesucht. Aus ca. 1000 Karteikarten wurden etwa 150 Soldaten als geeignet erscheinende Probanden ausgewählt, die zur klinischen Untersuchung bestellt wurden. Dabei stellte sich heraus, daß die meisten den oben genannten Anforderungen nicht entsprachen und wegen hinzugekommener formverändernder Karies und vorhandener Anomalien wie z. B. tordierten Zähnen, Kreuzbiß und Engstand ausfielen. So konnten nur noch 26 Soldaten in die Untersuchung einbezogen werden.

Damit betrug die Zahl der Probanden zunächst 40. Wie sich bei den späteren statistischen Untersuchungen herausstellte, mußte ein Fall (kariesfrei, ausgeprägte Höcker, neutrale Verzahnung, eugnathe Stellung der Eckzähne, Praemolaren und Molaren, aber protrudierte Oberkieferfront!) als Ausreißer betrachtet und aus dem zur statistischen Auswertung kommenden Material gestrichen werden. Die statistisch untersuchte Fallzahl beträgt somit 39.

3. MESSMETHODEN

A. Modellen entnommene Größen

Vom Patienten wird eine exakte Alginatabformung des Ober- und Unterkiefers vorgenommen. Das heißt, die Zähne werden getrocknet und die Kauflächen kurz vor der Abdrucknahme mit Alginat bestrichen, damit diese bestimmt keine Ungenauigkeiten aufweisen. Der Abdruck wird mit feuchtem Zellstoff bedeckt, und es ist darauf zu achten, daß die distalen Enden der Abdruckmasse nicht über den Löffel hinausragen und dadurch beim Auflegen den Abdruck verziehen.

Vor dem Ausgießen wird die Abformung trockengeblasen. Zum Ausgießen verwendet man einen Spezial-Hartgips (Stonegips), damit die Kauflächen vor Abrieb geschützt sind und somit keine Veränderungen erleiden.

Jetzt wird der Abdruck auf dem Rüttler ausgegossen und bleibt bis zur völligen Erhärtung mit den Kauflächen nach unten gerichtet liegen, damit das Wasser nach oben aufsteigen kann und somit härtere Kauflächen erzielt werden. Erst jetzt werden die Modelle gesockelt, und zwar mit einem kieferorthopädischen Sockler. Die Okklusionsebene wird parallel zur Socklerebene gewählt, und die Raphemedianebene wird auf die Mittensmarkierung des Socklers eingestellt. Die genaue dreidimensionale Einordnung der Modelle ist notwendig, um diese später in genau definierter Ebene fotografieren zu können.

3.1. Höckerwinkel

3.1.1. Definition

Wie in der Problemstellung erwähnt wurde, sind die Winkel derjenigen Praemolarenhöckerflächen gesucht, die bei der Pro- bzw. Retrusion längs der Raphemedianebene eine funktionelle Rolle spielen können.

Zur Definition dieser Höckerwinkel seien die Höcker in der Idealform des Kegels angenommen:

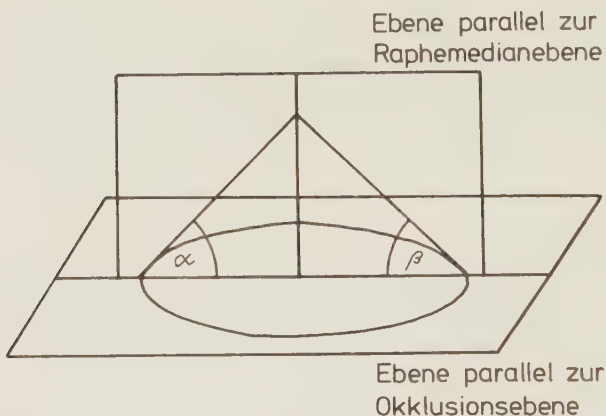
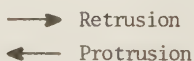


Abb. (3.1.1.1). Definition der sagittalen Höckerwinkel



α = sagittaler Höckerwinkel bei Protrusion

β = sagittaler Höckerwinkel bei Retrusion

Die gesuchten Höckerflächen erhält man durch Schnitt des Höckerkegels mit einer durch die Höckerspitze gelegten Ebene, die parallel zur Raphemedianeebene verläuft. Dadurch wird der eine Schenkel des Winkels festgelegt. Der andere Schenkel wird durch die Schnittgerade der Okklusionsebene mit der zur Raphemedianeebene parallelen Ebene definiert.

Als Bezugsebene wird die Okklusionsebene gewählt, da diese auch Bezugsebene für Gelenkbahn und Schneidezahnführungswinkel sein kann.

Eine einheitliche Bezugsebene ist aus folgenden Gründen wünschenswert: Angenommen, für zwei auf ein und dieselbe Ebene E_1 bezogene Größen (Winkel) A und B zeigt der einfache Korrelationskoeffizient eine bestimmte Korrelation an. Wird nun aber die Größe B auf eine andere Ebene E_2 bezogen, kann es passieren, daß der einfache Korrelationskoeffizient keine Korrelation zwischen A und B meldet, wenn die Lagebeziehung zwischen den Ebenen E_1 und E_2 variabel ist.

Im Falle zweier Bezugsebenen müßte die Lagebeziehung der Ebenen als weitere Variable gemessen werden, um über den partiellen Korrelationskoeffizienten den störenden Einfluß der Ebenenbeziehung zu eliminieren.

3.1.2. Meßmethode

Das technische Vorgehen ist folgendes:

Die mit gelbem Stonegips ausgegossenen Modelle werden auf kariertem Papier so ausgerichtet, daß die Photoachse senkrecht auf der Raphemedianebene und auf der Höhe der Okklusionsebene liegt. Die Bildmitte wird mit Hilfe des Suchers auf den zweiten Praemolaren eingestellt. Die Okklusionsebene wird im Unterkiefer mit einem gespannten Zwirnsfaden von der mesialen Kante der unteren Einser bis zum distobuccalen Höcker des zweiten Molaren sichtbar gemacht. Als Hintergrund wird die Komplementärfarbe Blau gewählt, und auch die Höcker der anderen Seite des Kiefers werden mit blauem Plastelin abgedeckt, damit sich die Höcker ganz scharf abzeichnen.

In Vorversuchen wurde auch die Schwarz-Weiß-Fotografie versucht, wobei aber beim späteren Abzeichnen bei starker Vergrößerung Schwierigkeiten entstanden. Die Grenze zwischen Zahn und Hintergrund war in den Grautönen nicht exakt zu bestimmen.

Da die Okklusionsebene im Oberkiefer nur vom Unterkiefer her übertragen werden kann und die die Okklusionsebene bestimmenden Punkte nicht eminent sind, markiert man diese mit Hilfe von etwa 3 bis 5 mm breiten und 3 cm

langen, festen Millimeterpapierstreifchen, deren Spitze den übertragenen Punkt aus dem Unterkiefer markieren. Damit kein Foto verwechselt wird, stellt man am Modellsockel ein Namensschild mit der Bezeichnung des Quadranten auf.

Die Diapositive werden mit einer etwa achtfachen Vergrößerung auf ein großes Blatt Papier, etwa DIN A 3, projiziert, die Konturen der Höcker abgezeichnet und die Okklusionsebene eingetragen.

Der genaue Vergrößerungsfaktor wurde bestimmt durch Messung des Abstandes der Höckerspitzen des ersten und zweiten Praemolaren am Modell und in der Projektion. Die Messung der Höckerwinkel erfolgt auf dem Projektionsbild.

Unproblematisch ist die Anwendung der oben aufgeführten Definition bei folgendermaßen geformten Zähnen:

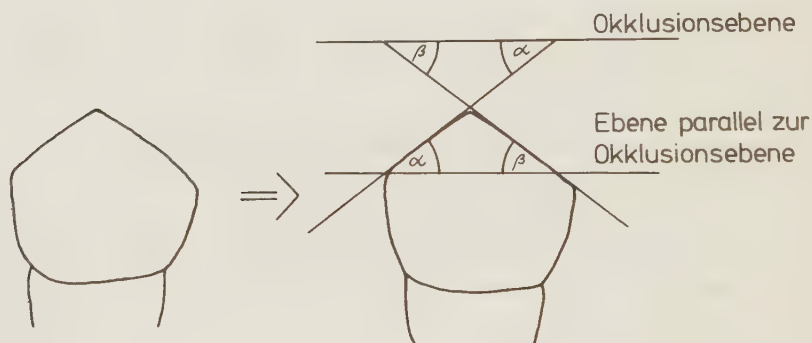


Abb. (3.1.2.1). Meßmethode der sagittalen Höckerwinkel bei Kegelform der Praemolaren

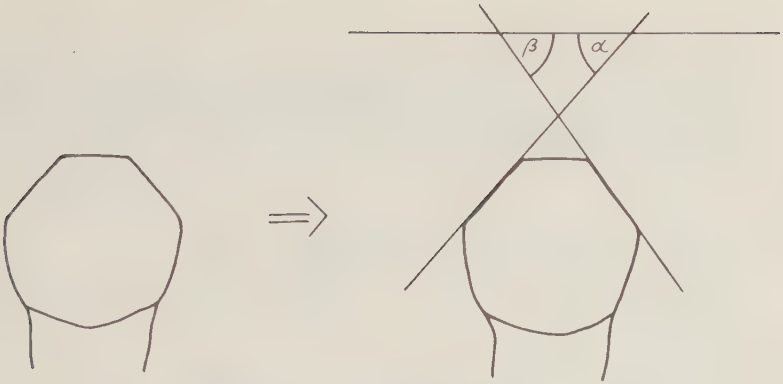


Abb. (3.1.2.2). Meßmethode der sagittalen Höckerwinkel beim Kegelstumpf

Schwieriger wird die Höckerwinkelmessung, wenn der Höcker deutlich von der Kegelform abweicht:

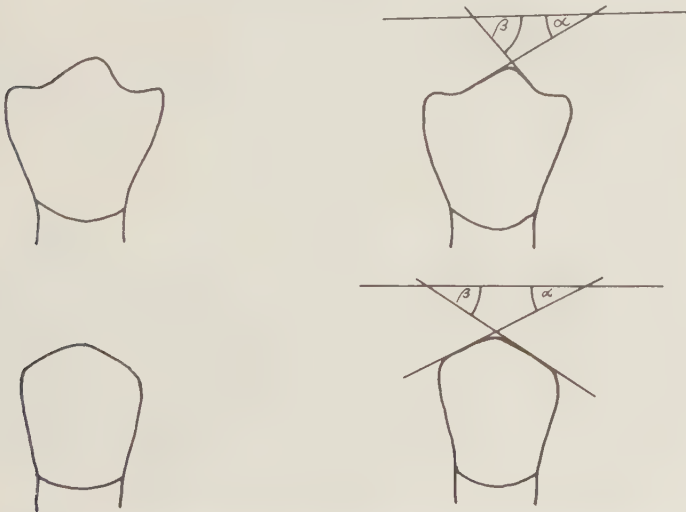


Abb. (3.1.2.3). Meßmethoden der sagittalen Höckerwinkel bei Abweichung von der Kegelform

In solchen Fällen wird an den funktionell relevanten Stellen der Zahnhöcker eine Tangentialebene angelegt und deren Winkel zur Okklusionsebene als Höckerwinkel gemessen.

3.2. Tiefe der sagittalen Kompensationskurve (GYSI)

3.2.1. Definition

Es wurde das von GYSI (5) definierte Maß für den Grad der Krümmung der sagittalen Kompensationskurve benutzt, d. h. der Abstand der Höckerspitzen des zweiten Praemolaren im Unterkiefer (35,45) zur Okklusionsebene:

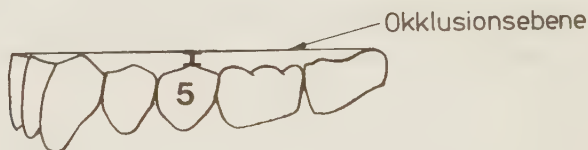


Abb. (3.2.1.1). Tiefe der sagittalen Kompensationskurve

3.2.2. Meßmethode

Die Abstände der Höckerspitzen von 35 bzw. 45 zur Okklusionsebene wurden an den Projektionsbildern des Unterkiefermodells (s. 3.1.2) gemessen. In den statistischen Untersuchungen wurden die mit Hilfe des Vergrößerungsfaktors (s. 3.1.2) auf Modellgröße zurückgerechneten Werte benutzt.

3.3. Winkel der sagittalen Kompensationskurve (GAUSS)

In die Gysi'sche Definition der sagittalen Kompensationskurve gehen die Werte von nur drei Höckern ein: Die beiden die Okklusionsebene (bzw.

Okklusionsgerade für einen Quadranten hier genauer) bestimmenden Punkte und die Höckerspitze des zweiten Praemolaren. Die Lage der anderen Höcker hat dabei keinen Einfluß auf die Größe des Meßwertes. Umgekehrt hat die anormale Lage eines dieser drei Punkte einen verhältnismäßig großen Einfluß auf den Meßwert.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei dem von GYSI auch vorgeschlagenen Maß (5), das hier allerdings nicht benutzt wird.

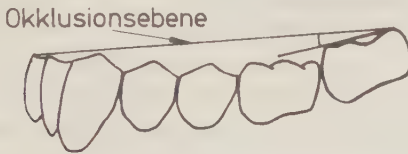


Abb. (3.3.0.1). Winkel der sagittalen Kompensationskurve nach GYSI

Auch hier geht nur die Stellung von zwei Zähnen in die Messung ein. Deshalb wurde auf folgende Weise ein anderes Maß für die sagittale Kompensationskurve definiert, bei dem die Lage aller Zahnhöcker berücksichtigt wird.

3.3.1. Definition

Dieser Definition liegt die Vorstellung zu Grunde, daß die sagittale Kompensationskurve Kreisbogen-Charakter hat.

Es ist daher derjenige Kreisbogen gesucht, der möglichst gut durch die Punktmenge der Höckerspitzen gelegt werden kann.

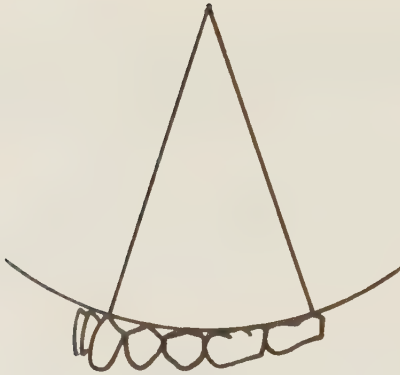


Abb. (3.3.1.1). Kreisbogencharakter der sagittalen Kompensationskurve

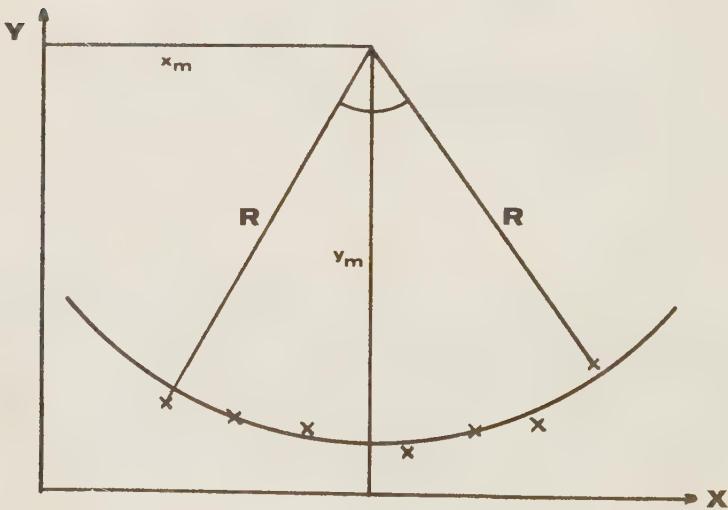


Abb. (3.3.1.2). Lagebestimmung des sagittalen Kompensationskreises mit Hilfe der Gauß'schen Methode der minimalen Summe der Quadrate der Abweichungen

Das "möglichst gut" wird im Sinne der Gauß'schen kleinsten Fehlerquadratsumme erreicht, wenn die Parameter R , x_m , y_m der Kreisgleichung $(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 = R^2$ so gewählt sind, daß die Summe der Quadrate der Abstände der Höckerspitzen (x_i, y_i) zum Kreisbogen minimal ist:

$$(3.3.1.3) \quad \sum (\sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - R)^2 = \text{Minimum!}$$

Der Krümmungsradius R der sagittalen Kompensationskurve, der sich aus der obigen Definition ergibt, ist unabhängig von dem Koordinatensystem, in dem die Koordinaten der Höckerspitzen (x_i, y_i) und des Mittelpunktes des Kompensationskreises (x_m, y_m) festgelegt werden. Das Koordinatensystem ist deshalb frei wählbar.

Nun hängt aber der Kompensationskurvenradius R nicht linear von der Lage der Höckerspitzen zueinander ab, wie man aus unten stehender vereinfachter Überlegung sieht, so daß man einen Zusammenhang zwischen der Kompensationskurve und den anderen gemessenen Größen über den Radius R mit Hilfe der einfachen (linearen) Korrelationskoeffizienten nicht untersuchen kann.

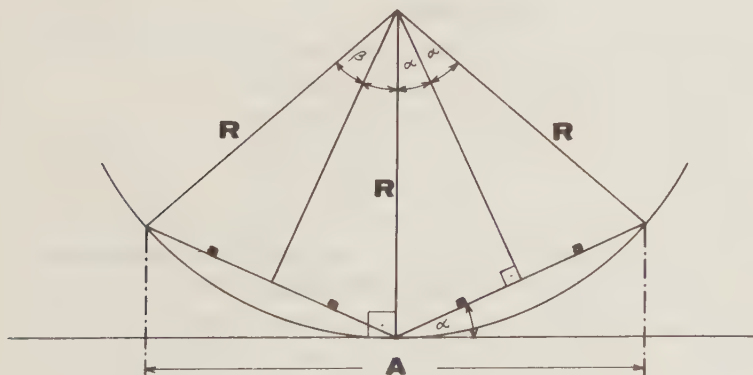


Abb. (3.3.1.4). Nichtlineare Abhängigkeit des Radius R der Kompensationskurve und lineare Abhängigkeit des Winkels β der sagittalen Kompensationskurve von der Lage der Höckerspitzen

Bekanntlich läßt sich der Mittelpunkt und der Radius eines Kreisbogens dadurch finden, daß man die Mittelsenkrechten auf zwei verschiedene, aber sonst beliebige Sekanten des Kreisbogens zum Schnitt bringt.

Für den Radius R gilt dann:

$$R = \frac{a}{\sin \alpha}$$

Es gilt nun $\sin \alpha \rightarrow 0$, wenn $\alpha \rightarrow 0$.

Daraus folgt: $R \rightarrow \infty$, wenn $\alpha \rightarrow 0$ und R wird immer schneller größer, wenn α kleiner wird, d. h. R ändert sich nicht linear mit α .

Um in die statistischen Untersuchungen (Berechnung der linearen Korrelationskoeffizienten) einbezogen werden zu können, muß R in eine Größe transformiert werden, die linear von der Lage der Höckerspitzen abhängt. Dies ist unter Zuhilfenahme des Abstandes A der beiden äußersten der betrachteten Höckerspitzen (s. Abb. 3.3.1.4) nach folgender Formel möglich:

$$\sin \beta = \frac{A/2}{R} = \frac{A}{2R}$$

(3.3.1.5)

$$\beta = \arcsin \frac{A}{2R}$$

Es besteht nun offensichtlich der lineare Zusammenhang:

$$\beta = 2 \alpha$$

Dieser Winkel β , im folgenden mit "Winkel der sagittalen Kompensationskurve" bezeichnet, wird hier als Maß für die sagittale Kompensationskurve benutzt und geht als solches in die Untersuchungen ein.

Zu beachten ist, daß in den Winkel β nicht etwa nur die Werte von drei Höckerspitzen eingehen, sondern, da er aus R berechnet wird, alle betrachteten Höckerspitzen.

Zur Definition der sagittalen Kompensationskurve werden nur die Höcker von Drei bis Sieben (Acht nur, wenn er in Okklusion steht) herangezogen, da die Frontzähne mit ihren senkrecht zur Richtung der Protrusionsbewegung stehenden Flächen hierfür keine Bedeutung haben.

3.3.2. Meßmethode

Zur Bestimmung der Lage der Höckerspitzen wurden die schon bei 3.1. und 3.2. benutzten Projektionsbilder der Modelle mit einem beliebigen Koordinatensystem versehen. Aus den Koordinaten der Höckerspitzen wurde zunächst der Kompensationsradius R (in Projektionsgröße) nach (3.3.1.3) berechnet und dieser dann mit Hilfe des Abstandes A der Höckerspitzen vom Eckzahn bis zum distalen Höcker des in Okklusion stehenden Molaren (ebenfalls in Projektionsgröße) zu dem Winkel der sagittalen Kompensationskurve nach (3.3.1.5) umgeformt.

Eine Umrechnung von R und A mit Hilfe des Vergrößerungsfaktors auf Modellgröße ist nicht notwendig, da sich in Formel (3.3.1.5) der Vergrößerungsfaktor herausdividiert.

Der Winkel β wird sowohl für die Kompensationskurve des linken als auch des rechten Unterkieferquadranten bestimmt.

3.4. Transversale Kompensationskurve

3.4.1. Definition

Als Maß für die transversale Kompensationskurve werden die bereits von GYSI (5) gemessenen Winkel benutzt.



Abb. (3.4.1.1). Maß der transversalen Kompensationskurve

Der Winkel wird gebildet durch die distobuccalen und distolingualen Höckerspitzen der zweiten Molaren mit der Okklusionsebene. Diese Höckerspitzen sind ausgesucht, da die Weisheitszähne nicht in allen Fällen in Okklusion stehen und bei den ersten Molaren die transversale Krümmung noch sehr wenig ausgeprägt ist. Dies ist als Ursache der helicoidalen Verwindung zu verstehen.

Da ein solches im Raum gewundenes Band, wie es die Kauflächen darstellen, schwierig zu messen ist, soll die Krümmung im Bereich des zweiten Molaren im Unterkiefer als Maß für die transversale Kompensationskurve genommen werden.

Zur Messung der transversalen Kompensationskurve ist das Unterkiefermodell von distal zu fotografieren. Die dritten Molaren werden zu diesem Zweck, soweit vorhanden, radiert.

Die optische Achse fällt zusammen mit der Schnittgeraden von Okklusionsebene und Raphemedianebene. Analog zu 3.1.2. werden die Diapositive durch Projektion auf ein Blatt vergrößert.

3.5. Frontzahnstufe

3.5.1. Definition

Es wird eine Ebene parallel zur Okklusionsebene in Höhe der Incisalkante des Oberkiefer-Einsers gelegt. In der maximalen Interkuspitation wird auf dieser Ebene der kleinste Abstand zwischen der palatinalen Fläche der Oberkiefer-Einser und der labialen Fläche der Unterkiefer-Einser gemessen.

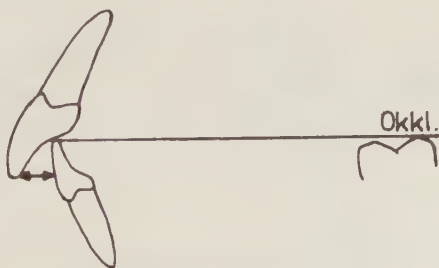


Abb. (3.5.1.1). Maß der Frontzahnstufe

Es wird der innere Abstand der Incisivi als Frontzahnstufe definiert und nicht wie in der Kieferorthopädie (SCHMUTH, 21) die Strecke von der labialen zur labialen Fläche der Incisivi, weil nur der innere Abstand über das Maß der Protrusion entscheidet und der Durchmesser des oberen Schneidezahnes für die Führung irrelevant ist.

3.5.2. Meßmethode

Die Messung wird am Modell vorgenommen, indem man ein Lineal parallel zur Okklusionsebene hält und den äußeren Abstand mißt. Den inneren Abstand erhält man, indem man den Durchmesser der Incisalkante, der mit einem Stechzirkel ermittelt wird, von dem ersten Wert subtrahiert.

3. 6. Frontaler Überbiß

3. 6. 1. Definition

In der maximalen Interkuspidation wird in Höhe der Incisalkante der Oberkieferincisivi (Einser) eine Ebene parallel zur Okklusionsebene gelegt. Der Abstand der beiden Ebenen ist der Überbiß.

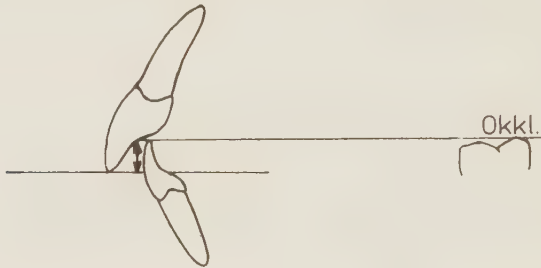


Abb. (3.6.1.1). Maß des frontalen Überbisses

3. 6. 2. Meßmethode

Mit einem Bleistift wird parallel zur Okklusionsebene an der Labialfläche der unteren Incisivi die Höhe der oberen Incisivi markiert. Der Abstand von dort zur Incisalkante ist das Maß für den Überbiß.

B. Fernröntgenaufnahmen entnommene Größen

In den folgenden Überlegungen werden Definitionen von Maßen für die Stellung der Ober- und Unterkieferincisivi und des Interincisalwinkels gegeben.

Das Maß für den Schneidezahnführungswinkel sollte möglichst genau die Bahn wiedergeben, die die Incisalkante des Unterkieferincisivus an der Palatinalfläche des Oberkieferincisivus bei der Protrusionsbewegung beschreibt.

GYSI legt an die Palatinalfläche der Oberkieferincisivi den beweglichen Schenkel eines Winkelmeßgerätes an, während der andere Schenkel auf den Höckern der Oberkiefer-Praemolaren und -Molaren aufliegt (5).



Abb. (3. B. 1). Schneidezahnführungswinkel nach GYSI

Bei dieser Methode beeinflusst das Tuberculum der Incisivi die Messung stark. Auch ist die gemessene Okklusionsebene nicht mit der im Unterkiefer definierten identisch.

Wählt man die Zahnachse der Incisivi, so geht mehr die Stellung des Zahnes in die Messung ein. Zudem wird durch die Wahl einer größeren Meßstrecke, nämlich von der Incisalkante bis zur Wurzelspitze, die Meßgenauigkeit größer als bei einer kleineren Strecke, etwa von der Incisalkante bis zum Okklusionspunkt.

In der Kieferorthopädie ist die Messung der Zahnachsen mit Hilfe der Fernröntgenaufnahme eine bewährte Methode (SCHWARZ, 22).

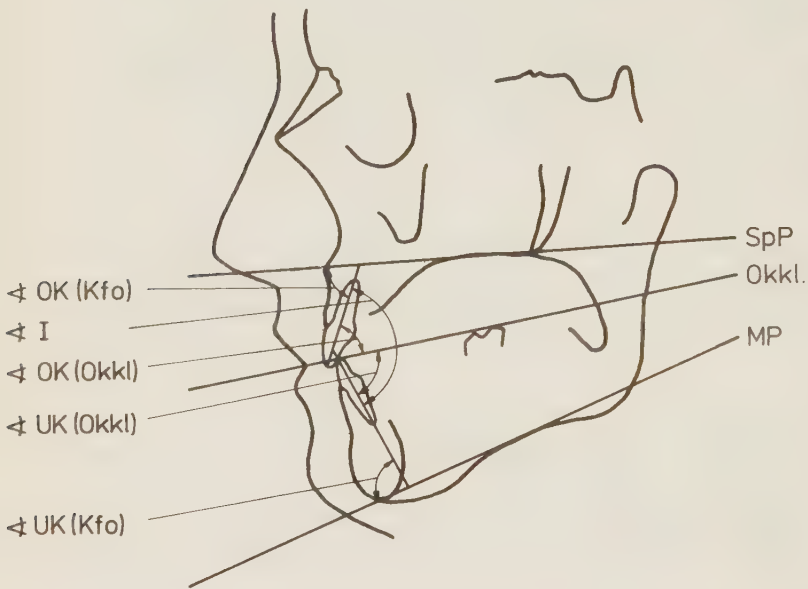


Abb. (3. B. 1). Schematisierte Fernröntgenaufnahme mit Angabe der gemessenen Winkel

Mit Hilfe der Fernröntgenaufnahme ist es möglich, zwei verschiedene Maße der Stellung der Ober- und Unterkieferincisivi zu definieren. Einmal mit der in der Kieferorthopädie üblichen Weise (s. 3. 10 und 3. 11) und zum anderen mit der Okklusionsebene als Bezugsebene wie bei den anderen, in die Untersuchung eingehenden Größen.

Die Okklusionsebene im Fernröntgenbild ist schwer zu bestimmen, besonders wenn die Probanden bei der Aufnahme zubeißen, wie es hier der Fall ist. Dies ist aber andererseits zur Übertragung der Unterkieferokklusionsebene auf den Oberkiefer notwendig.

Es ist zu beachten, daß die Okklusionsebene von der Definition her immer dieselbe ist und nicht mit der Definition der Kieferorthopäden, die durch die Halbierung des Überbisses der Schneidezähne und den distalen Höcker der letzten noch im Gebiß stehenden Mahlzähne definiert ist, zu verwechseln (SCHWARZ, 22).

Als weitere Größe wurde der Interincisalwinkel aus dem Röntgenbild entnommen. Einmal kann hiermit eine weitere eventuelle Störgröße ermittelt werden und bei der statistischen Untersuchung in die Berechnung eingehen. Zum anderen interessiert es, ob die Probanden den Normvorstellungen der Kieferorthopädie entsprechen.

3. 7. Oberkieferincisalwinkel (kieferorthopädischer)

Der Oberkieferincisalwinkel ist der anteriore Winkel zwischen Spinaebene und Zahnachse der Oberkieferincisivi-Einser. Die Spinaebene ist definiert als Strecke von der Einstrahlung der incisura semilunaris in den harten Gaumen bis zur stärksten Knochenverdichtung der Spinasalis. Als Zahnachse wird die Gerade gewählt, die durch die Incisalkante und die Wurzelspitze verläuft.

3. 8. Unterkieferincisalwinkel (kieferorthopädischer)

Der Unterkieferincisalwinkel wird definiert als anteriorer Winkel zwischen dem Mandibularplanum und der Zahnachse der Unterkieferincisivi-Einser. Das Mandibularplanum verbindet die kaudale Knochenverdichtung des Gonions mit dem cranialsten Punkt der Mandibularincisur. Die Zahnachse ist wie im Oberkiefer definiert.

3. 9. Interincisalwinkel

Der Interincisalwinkel ist der posteriore Winkel zwischen den Zahnachsen der Ober- und Unterkieferincisivi.

3. 10. Oberkieferincisalwinkel (Okklusionsebene)

Er wird gebildet durch den posterioren Winkel, den die Zahnachse der Oberkieferincisivi mit der Okklusionsebene bildet.

3. 11. Unterkieferincisalwinkel (Okklusionsebene)

Er wird gebildet durch den posterioren Winkel, den die Zahnachse der Unterkieferincisivi mit der Okklusionsebene bildet.

C. Am Patienten direkt gemessene Größen

3. 12. Kondylenbahnneigung

3. 12. 1. Definition

Die Kondylenbahnneigung ist der Winkel, den die Bahn des Kondylus bei der Protrusionsbewegung ohne Zahnkontakt mit der Okklusions-ebene bildet.

Um die Kondylenbahn zu bestimmen, gibt es mehrere gängige Methoden. Zur alleinigen Bestimmung der Kondylenbahn ohne Artikulator bietet sich die Registriertechnik nach GERBER an (4).

3. 12. 2. Meßmethode

Die Messung wird nach dessen Anleitungen mit folgenden Einschränkungen vorgenommen: Nachdem die Modelle fotografiert worden sind, können sie zur Herstellung der Registrierplatte mit Stützzstift für den Oberkiefer verwendet werden. Als zusätzliche dentale Abstützung werden zwischen dem zweiten Praemolaren und dem ersten Molaren Scheu-Anker eingearbeitet. Neben der Haltefunktion sollen sie verhindern, daß die Platte während der Registrierung, d. h. unter Druck, durch Kompression der Schleimhaut und Separation der Zahnreihen ihre Lage ändert. GERBER löst dieses Problem, indem er die palatinalen Höcker der Oberkieferzähne mit Kunststoff überdeckt.

Um dann aber bei der Registrierung zu erreichen, daß nur der Registrierstift die Führung übernimmt, muß eine größere Sperrung von Ober- und Unterkiefer vorgenommen werden. Dies kann durchaus problematisch werden, da eine Sperre von 20 mm nicht überschritten werden darf (POSSELT, 17). Bei einer Sperrung dieser Größenordnung setzt schon eine Protrusionsbewegung ein. Bei der hier durchgeführten Methode betrug die Sperrung 4,5 - 11,0 mm.

Die Position der unteren Übertragungsplatte wird schon am Modell mit Kerr-Grün fixiert; denn nur so ist es möglich, daß die Übertragungsplatte exakt parallel zur Okklusionsebene zu liegen kommt. Im Mund ist dann nur noch eine Fixierung, die im Bereich der Eckzähne vorgenommen wird, notwendig, um einen festen Sitz der Übertragungsplatte zu erreichen.

Bei der Bestimmung der lateralen Scharnierachsenpunkte wurde ca. 13 mm vor dem Tragus an der Ohr-Nasenebene der laterale Pol palpiert und mit Filzstift angezeichnet. Erst mit Hilfe des Gesichtsbogens wurde durch kleine Öffnungsbewegungen (Klappen) überprüft, ob der Zeichenstift im Zentrum der Rotation liegt und auch wirklich nur einen Punkt aufzeichnet.

Auf einer Karte mit Millimeterpapieraufdruck, die parallel zum Orientierungsstab, der die Okklusionsebene markiert, gehalten wird, wurden ca. 7 Aufzeichnungen der Kondylenbahn vorgenommen.

Es ist darauf zu achten, daß der Proband aus der retrudierten Position heraus die Protrusionsbewegung für die Kondylenbahnaufzeichnung vornimmt. Nur so kann man den genauen Umschlagpunkt, von dem aus die



Abb. (3.12.2.1).

Relevanter Teil der Kondylenbahneigung

Abwärtsbewegung des Kondylus beginnt, bestimmen. Es wurden nun die ersten 2 - 3 mm der Kondylenbahn vom Umschlagpunkt aus durch eine Gerade approximiert, die zusammen mit der Okklusionsebene den Kondylenbahnwinkel bildet.

In die statistischen Berechnungen geht der Mittelwert der ca. 7 Messungen ein.

4. STATISTIK

Ziel der Untersuchung war, festzustellen, ob Zusammenhänge zwischen den untersuchten Meßgrößen vorhanden sind, und wenn ja, welche.

Zur statistischen Untersuchung liegt eine Fallzahl von 39 Probanden vor, von denen alle Meßwerte vorhanden sind.

Zunächst werden für jede Größe aus den Meßwerten Mittelwert, Standardabweichung und Konfidenzbereich berechnet und mit den in der Zahnmedizin anerkannten Normwerten verglichen, soweit solche vorhanden sind. Diese Vergleiche erlauben u. a. eine Bewertung der Qualität des ausgewählten Probandengutes.

Die Grundlage zur Aufklärung der Abhängigkeitsstruktur zwischen den Größen wurde durch Berechnung von linearen Korrelationskoeffizienten (einfache, multiple, partielle) geschaffen.

Die Abhängigkeitsstrukturen werden schrittweise entwickelt. Von besonderer Bedeutung ist dabei eine Abhängigkeitsbeziehung, die hier "Brückenbeziehung" genannt wurde. Bei der Untersuchung von Brückenbeziehungen werden sowohl die einfachen als auch die multiplen und partiellen Korrelationskoeffizienten benötigt.

In den Bezeichnungen der Korrelationskoeffizienten werden die Größen nicht durch Namen, sondern durch Nummern angegeben. Es wurde dabei folgende Numerierung eingehalten:

Variablen Nr.	Bezeichnung der Variablen	Dimension
1	OK-Incisalwinkel (KFO)	Grad
2	OK-Incisalwinkel (OKKL)	"
3	UK-Incisalwinkel (KFO)	"
4	UK-Incisalwinkel (OKKL)	"
5	Interincisalwinkel	"
6	Überbiß	mm
7	Frontzahnstufe	"
8	Kondylenbahn links	Grad
9	Kondylenbahn rechts	"
10	Sagittaler Winkel links	"
11	Sagittaler Winkel rechts	"
12	Tiefe der Komp.-Kurve links	mm
13	Tiefe der Komp.-Kurve rechts	mm
14	Trans.-Winkel links	Grad
15	Trans.-Winkel rechts	"
16	Höcker 14 m	"
17	Höcker 14 d	"
18	Höcker 15 m	"
19	Höcker 15 d	"
20	Höcker 24 m	"
21	Höcker 24 d	"
22	Höcker 25 m	"
23	Höcker 25 d	"
24	Höcker 34 m	"
25	Höcker 34 d	"
26	Höcker 35 m	"
27	Höcker 35 d	"
28	Höcker 44 m	"
29	Höcker 44 d	"
30	Höcker 45 m	"
31	Höcker 45 d	"

4. 1. Meßwerte

Nach den in Kapitel 3 beschriebenen Methoden ergeben sich folgende Meßergebnisse:

LISTE DER VARIABLENWERTE

NAME		VARIABLEN														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PROBAND 1		82.77.	85.72.	148.	6.0	2.0	37.30.	17.9	16.2	1.7	1.4	17.34.				
PROBAND 2		72.61.	96.70.	131.	3.5	1.5	25.26.	10.8	12.5	3.3	2.6	23.20.				
PROBAND 3		68.58.	81.65.	123.	3.0	2.0	29.20.	10.5	8.7	0.8	0.8	21.38.				
PROBAND 4		78.72.	88.77.	147.	4.0	1.0	39.30.	11.5	10.7	1.3	0.9	25.11.				
PROBAND 5		71.62.	87.74.	135.	2.5	1.0	34.33.	14.1	12.7	1.8	1.3	22.18.				
PROBAND 6		75.71.	76.70.	140.	5.0	1.5	28.40.	14.2	16.7	2.3	1.5	24.24.				
PROBAND 7		66.62.	113.75.	136.	2.0	0.0	25.32.	11.2	11.1	1.3	2.6	25.31.				
PROBAND 8		73.65.	71.60.	125.	3.5	2.5	27.32.	14.8	16.1	1.9	2.0	24.24.				
PROBAND 9		78.71.	77.66.	136.	5.0	2.5	45.54.	17.9	16.4	1.3	1.4	13.10.				
PROBAND 10		72.63.	92.74.	138.	4.0	1.0	31.25.	15.5	14.0	2.0	1.1	24.38.				
PROBAND 11		67.59.	68.55.	113.	4.5	2.0	44.37.	14.2	14.6	3.3	2.6	14.20.				
PROBAND 12		74.74.	82.69.	142.	5.0	2.0	42.37.	11.7	12.6	0.9	1.0	17.31.				
PROBAND 13		74.67.	83.72.	138.	4.0	1.0	31.24.	10.2	8.9	0.5	1.1	13.14.				
PROBAND 14		67.67.	83.64.	130.	3.5	2.0	40.34.	11.4	13.7	1.9	1.0	5.5.				
PROBAND 15		73.61.	84.65.	124.	3.0	1.0	34.35.	9.4	10.2	0.6	0.9	22.24.				
PROBAND 16		78.69.	97.82.	150.	5.0	2.0	30.39.	14.7	13.3	2.4	1.9	16.21.				
PROBAND 17		70.66.	85.70.	135.	2.0	0.0	28.29.	12.0	13.3	2.4	2.4	16.10.				
PROBAND 18		69.62.	74.61.	122.	3.0	2.0	24.30.	10.7	7.1	1.5	1.4	26.27.				
PROBAND 19		65.55.	94.80.	135.	3.0	0.5	28.24.	12.4	8.9	1.8	1.1	30.30.				
PROBAND 20		81.73.	78.71.	143.	5.0	1.0	37.39.	20.9	17.2	2.6	2.1	21.28.				
PROBAND 21		68.62.	77.67.	129.	2.5	1.0	34.37.	8.8	9.3	0.5	0.6	9.18.				
PROBAND 22		86.84.	90.77.	160.	7.5	3.0	42.31.	23.3	21.4	2.5	2.7	28.22.				
PROBAND 23		73.69.	87.77.	145.	4.5	1.0	30.32.	11.1	10.5	1.4	1.1	14.17.				
PROBAND 24		70.65.	68.57.	121.	4.5	4.0	36.46.	14.2	9.6	2.6	2.0	11.17.				
PROBAND 25		70.65.	73.60.	123.	4.0	1.5	44.42.	17.1	16.3	2.6	2.9	14.16.				
PROBAND 26		70.63.	84.80.	143.	3.0	0.5	31.33.	10.5	12.9	1.0	1.0	11.15.				
PROBAND 27		73.69.	92.71.	139.	4.0	0.5	36.38.	12.5	15.6	2.1	3.3	24.25.				
PROBAND 28		60.54.	87.66.	120.	1.5	0.0	12.21.	7.3	5.1	0.3	0.0	15.15.				
PROBAND 29		75.72.	85.72.	144.	3.5	0.5	30.31.	10.3	10.1	0.8	1.3	24.23.				
PROBAND 30		77.65.	92.80.	146.	3.5	0.5	27.36.	12.0	14.8	1.5	1.6	23.17.				
PROBAND 31		71.61.	83.66.	127.	4.0	1.0	30.33.	11.1	10.5	1.4	1.5	25.13.				
PROBAND 32		72.69.	85.70.	138.	4.5	2.0	32.38.	17.5	14.5	2.5	2.2	14.16.				
PROBAND 33		76.67.	94.59.	126.	4.0	2.0	36.40.	10.6	14.8	0.8	1.0	20.20.				
PROBAND 34		62.59.	83.68.	126.	1.5	0.0	41.35.	9.7	7.0	0.7	0.6	13.16.				
PROBAND 35		70.69.	90.79.	147.	4.5	1.5	34.36.	13.7	10.6	1.4	1.7	23.23.				
PROBAND 36		72.69.	78.70.	138.	5.5	2.0	24.35.	12.4	14.7	0.0	0.4	18.12.				
PROBAND 37		70.65.	85.68.	133.	3.0	2.0	46.39.	13.6	15.5	1.9	3.0	15.11.				
PROBAND 38		74.65.	95.80.	144.	4.0	0.5	33.36.	16.5	16.5	2.3	1.3	19.27.				
PROBAND 39		75.74.	83.66.	139.	5.0	2.5	47.54.	17.7	16.4	1.8	1.4	17.31.				

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
44.27.39.26.49.25.41.26.26.40.25.32.35.30.36.29.															
36.29.36.33.41.26.32.26.26.42.29.24.26.31.23.22.															
22.22.26.22.32.22.27.17.24.29.21.23.30.21.21.24.															
23.28.25.22.38.25.34.21.38.30.33.30.46.27.28.24.															
28.24.20.26.35.19.26.17.24.29.17.24.34.22.33.20.															
37.26.39.17.30.25.35.15.27.30.38.35.36.21.27.24.															
56.18.32.23.56.22.41.21.35.37.20.36.26.34.18.35.															
49.15.31.22.40.21.35.26.25.21.23.19.25.25.31.21.															
42.24.39.20.41.26.38.27.28.31.28.32.26.27.20.30.															
28.32.36.21.39.23.37.23.25.26.19.16.36.26.29.22.															
42.36.37.27.46.23.40.20.48.33.39.24.40.25.38.19.															
41.31.32.30.43.27.40.22.36.34.32.33.41.34.30.25.															
28.29.28.19.30.21.31.12.27.24.25.23.32.18.28.21.															
25.40.25.20.29.28.28.24.27.26.24.22.22.20.19.23.															
47.24.42.32.42.27.35.32.40.43.39.27.37.36.27.35.															
30.30.30.22.41.28.37.16.21.20.24.16.30.19.21.12.															
29.19.18.19.39.18.23.17.14.24.14.15.22.30.18. 9.															
33.19.31.12.32.22.32.19.24.32.24.32.30.28.28.25.															
28.30.34.22.30.31.32.25.34.26.34.24.30.30.25.29.															
32.33.31.28.30.42.42.27.27.37.33.25.27.31.38.35.															
30.31.26.22.34.22.27.19.24.22.20.20.31.19.26.23.															
40.30.40.34.46.39.48.35.19.38.34.35.21.34.26.33.															
39.29.31.21.39.28.36.27.31.30.31.27.40.23.31.19.															
32.31.31.21.45.26.36.22.40.18.27.16.37.18.28.12.															
51.42.37.24.47.24.30.18.34.31.19.19.40.38.28.23.															
48.15.45.15.42.19.38.16.16.44.17.33.15.41.19.41.															
43.24.29.25.38.30.36.21.45.25.25.18.36.36.20.21.															
33.15.34.14.43.16.40.15.24.28.17.26.24.16.14.18.															
27.31.35.25.40.23.41.20.35.34.26.19.43.25.34.24.															
32.34.33.25.34.28.38.16.33.27.27.21.31.23.23.26.															
41.22.41.31.35.15.37.23.13.31.21.33.24.26.29.24.															
43.23.39.21.35.30.26.31.41.33.31.26.41.29.32.22.															
43.25.46.23.44.19.39.22.34.32.35.26.31.24.22.34.															
30.25.26.29.24.22.20.10.31.23.19.22.25.28.22.19.															
37.34.39.36.36.34.37.36.44.41.37.43.40.36.40.30.															
43.23.40.24.46.23.42.24.31.32.24.23.24.34.24.31.															
36.33.39.25.37.28.36.33.31.41.36.31.30.43.25.18.															
55.27.35.20.52.21.33.20.36.22.28.27.40.28.23.24.															
37.35.38.28.38.29.35.25.31.41.36.30.31.31.30.20.															

Abb. (4.1). Liste der Variablenwerte

4. 2. Mittelwerte und Standardabweichung

4. 2. 1. Formeln

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Verteilungen der durch die Meßwerte (4. 1.) gegebenen Stichprobe werden nach folgenden Formeln berechnet:

Stichproben - Mittelwert:

$$(4. 2. 1. 1) \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

N = Anzahl der Meßwerte x_i : für die Variable x

Stichproben - Standardabweichung:

$$(4. 2. 1. 2) \quad S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Mit Hilfe des Stichproben-Mittelwertes $\bar{x}$ und der Standardabweichung S läßt sich der Grundgesamtheits-Mittelwert μ der Variablen x schätzen (HASELOFF, 8):

Es gilt

$$\bar{x} - f \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} \leq \mu \leq \bar{x} + f \cdot \frac{S}{\sqrt{N}}$$

(4. 2. 1. 3)

mit einer von f abhängigen Wahrscheinlichkeit, die aus der Tabelle (4. 2. 1. 4) zu entnehmen ist.

Tab. (4.2.1.4). Proz. Anteil α der Normalverteilung, der zwischen
- $f \cdot \sigma$ und + $f \cdot \sigma$ liegt.

f	α	f	α
0,1	7,965	2,6	99,067
0,2	15,851	2,7	99,306
0,3	23,582	2,8	99,488
0,4	31,084	2,9	99,626
0,5	38,292	3,0	99,730
0,6	45,149	3,1	99,806
0,7	51,607	3,2	99,862
0,8	57,628	3,3	99,903
0,9	63,187	3,4	99,932
1,0	68,268	3,5	99,953
1,1	72,866	3,6	99,968
1,2	76,986	3,7	99,978
1,3	80,639	3,8	99,985
1,4	83,848	3,9	99,990
1,5	86,638	4,0	99,993
1,6	89,040	4,1	99,995
1,7	91,086	4,2	99,997
1,8	92,813	4,3	99,998
1,9	94,256	4,4	99,998
2,0	95,449	4,5	99,9993
2,1	96,427	4,6	99,9995
2,2	97,219	4,7	99,9997
2,3	97,855	4,8	99,9998
2,4	98,360	4,9	99,9999
2,5	98,758	5,0	99,9999

Der Bereich $(\bar{x} - f \cdot \frac{s}{\sqrt{N}}, \bar{x} + f \cdot \frac{s}{\sqrt{N}})$ wird als Konfidenzbereich des Grundgesamtheit-Mittelwertes μ bezeichnet.

Beispiel:

Mit 99,73 % Wahrscheinlichkeit liegt der Grundgesamtheits-Mittelwert μ im Bereich $(\bar{x} - 3 \cdot \frac{s}{\sqrt{N}}, \bar{x} + 3 \cdot \frac{s}{\sqrt{N}})$.

So liegt z. B. mit 99,73 % Wahrscheinlichkeit der Mittelwert μ der Neigung der linken Kondylenbahn zwischen $29,9^\circ$ und $36,9^\circ$.

4. 2. 2. Errechnete Mittelwerte

Die für diese Untersuchung gezogene Stichprobe liefert folgende Werte (s. S. 38):

4. 2. 3. Vergleich mit Normwerten

Bei der Stichprobenauswahl wurden Probanden ausgesucht mit einem möglichst eugnathen Gebiß. Die genauen Kriterien wurden oben aufgeführt.

Anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen läßt sich zeigen, ob die Probanden zumindest bei den gängigen Größen den Normvorstellungen entsprechen.

Am besten lassen sich der Ober- und der Unterkieferincisalwinkel sowie der Interincisalwinkel (s. 3.7, 3.8, 3.9) mit den als ideal angesehenen Werten in der Kieferorthopädie vergleichen.

VARIABLE	MITTELWERT	STANDARDABW.	99,73 % VERTRAUENSBEREICH	TEXT
1	72.231	5.163	69.751	OK-INCISALWINKEL (KFD)
2	66.179	6.047	74.711	OK-INCISALWINKEL (UCCL)
3	84.744	3.765	69.085	UK-INCISALWINKEL (KFD)
4	60.872	6.895	88.954	UK-INCISALWINKEL (UCCL)
5	135.359	10.062	73.184	INTERINCISALWINKEL
6	3.872	1.229	140.192	UEBERBISS
7	1.397	0.905	4.462	FRONTZAHNSTUFE
8	33.410	7.365	1.832	KONDYLENBAHN LINKS
9	34.436	7.323	36.948	KONDYLENBAHN RECHTS
10	13.228	3.411	37.954	SAGITTALER WINKEL LINKS
11	12.846	3.443	14.867	SAGITTALER WINKEL RECHTS
12	1.618	0.844	14.500	TIEFE DER KOMP.KURVE LI
13	1.556	0.776	2.023	TIEFE DER KOMP.KURVE RE
14	18.846	5.742	1.929	TRANSV. WINKEL LINKS UK
15	20.821	7.960	21.605	TRANSV. WINKEL RECHTS UK
16	36.923	3.649	24.644	HOECKER 14M
17	27.308	6.494	41.078	HOECKER 14D
18	33.718	6.444	30.427	HOECKER 15M
19	23.744	5.340	36.813	HOECKER 15D
20	38.923	6.795	26.309	HOECKER 24M
21	25.051	5.553	42.188	HOECKER 24D
22	34.097	5.835	22.384	HOECKER 25M
23	22.205	6.049	32.095	HOECKER 25D
24	30.103	7.970	19.299	HOECKER 34M
25	30.949	6.932	26.274	HOECKER 34D
26	26.923	7.035	33.931	HOECKER 35M
27	25.795	6.586	30.303	HOECKER 35D
28	31.667	7.187	28.959	HOECKER 44M
29	27.872	6.642	35.119	HOECKER 44D
30	26.513	6.074	31.062	HOECKER 45M
31	24.256	6.770	29.430	HOECKER 45D
			27.508	

Abb. (4.2.2.1). Errechnete Mittelwerte mit Standardabweichung und Vertrauensbereich

		99,73 %	
Eigener Mittelwert		Konfidenzbereich	Kfo-Norm
x OK	72,231	69,8 - 74,7	70 $\pm$ 5
x UK	84,744	80,6 - 88,9	85 $\pm$ 5
x I	135,359	130,8 - 140,3	140

Bei der Kondylenbahnneigung wird bei Mittelwertartikulatoren ein Wert von 34 ° (HEILBORN) für die Gelenkbahn angenommen.

Die Mittelwerte bei den Probanden belaufen sich auf:

Gelenkbahnneigung		Konfidenzbereich 99,73 %
links	33,410	29,9 - 36,9
rechts	34,436	30,9 - 37,9

4. 3. Lineare Korrelationsrechnung

Um Zusammenhänge zwischen jeweils zwei verschiedenen gemessenen Größen festzustellen, wurde eine Korrelationsrechnung durchgeführt. Diese Rechnung wurde nicht nur zwischen Größen ausgeführt, bei denen Zusammenhänge erwartet wurden, sondern für alle möglichen Variablen-Kombinationen, um auch nicht erwartete Korrelationen feststellen zu können und darüber hinaus die Grundlage für multiple bzw. partielle Korrelationsrechnungen zu haben.

4. 3. 1. Formeln für einfache Korrelationskoeffizienten

Der Korrelationskoeffizient ρ zwischen den Verteilungen zweier Zufallsvariablen x und y in der Grundgesamtheit wird mit Hilfe der Stichprobenwerte nach der Pearson-Formel geschätzt:

$$(4.3.1.1) \quad r = r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})}{s_x} \cdot \frac{(y_i - \bar{y})}{s_y}$$

- N = Anzahl der Wertepaare (x_i, y_i) der Variablen x und y
 $\bar{x}$ = Mittelwert von x nach (4.2.1.1)
 $\bar{y}$ = Mittelwert von y nach (4.2.1.1)
 s_x = Standardabweichung von x nach (4.2.1.2)
 s_y = Standardabweichung von y nach (4.2.1.2)

Der einfache Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen.

Für einen gegebenen Stichprobenumfang N (hier $N = 39$) läßt sich für bestimmte Signifikanzniveaus der Konfidenzbereich des Korrelationskoeffizienten ρ in Abhängigkeit vom Stichprobenkorrelationskoeffizienten r wie folgt in einem Diagramm angeben (vgl. dazu auch SACHS, S. 414).

Aus dem Diagramm (4.3.1.2) ist z. B. zu entnehmen, daß für einen Stichproben-Korrelationskoeffizienten $r = 0,5$ bei einem Stichprobenumfang von $N = 39$ der Grundgesamtheits-Korrelationskoeffizient ρ mit 99,99 % Wahrscheinlichkeit zwischen $-0,10$ und $+0,83$ liegt. Auf dem 99,99 %-Niveau ist r also nicht signifikant, da der Konfidenzbereich $\rho = 0$ einschließt und die $(\rho = 0)$ -Hypothese somit nicht widerlegt ist.

Für $r = 0,5$ ist das 99,9 %-Niveau gerade die Signifikanzgrenze; der Konfidenzbereich für ρ ist $0,00 \leq \rho \leq 0,80$.

Für alle Niveaus unterhalb der Signifikanzgrenze ist r signifikant. So ist $r = 0,5$ signifikant z. B. auf dem 99,0 %-Niveau; mit 99 % Wahrscheinlichkeit liegt ρ zwischen $+0,12$ und $+0,75$.

N = 39 Fälle

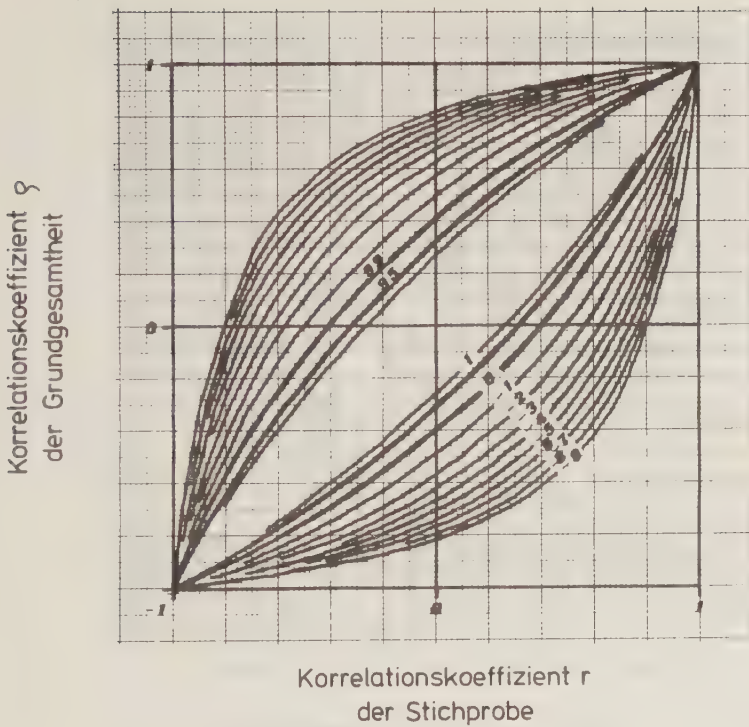


Abb. (4.3.1.2). Vertrauensbereich des Grundgesamtheitskorrelationskoeffizienten ρ zu dem Stichprobenkorrelationskoeffizienten r für verschiedene Signifikanzniveaus bei einer Fallzahl von 39

Interessant ist in diesem Zusammenhang, wie die Signifikanzgrenze vom Stichproben-Korrelationskoeffizienten r abhängt. Dies zeigt folgendes Diagramm:

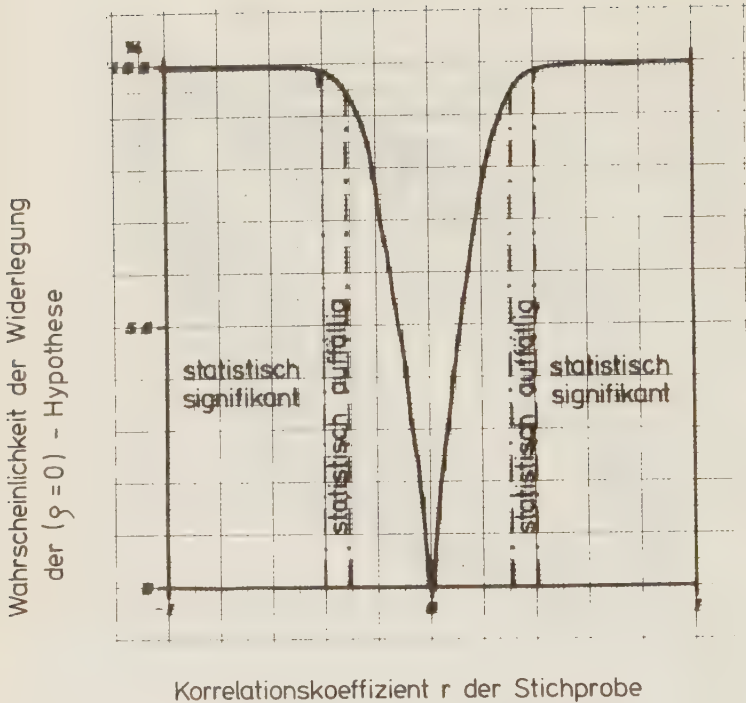


Abb. (4.3.1.3). Signifikanzgrenze des Korrelationskoeffizienten r bei einem Stichprobenumfang von $N = 39$

Üblicherweise bezeichnet man Korrelationskoeffizienten r , bei denen die Signifikanzgrenze zwischen 95 %- und 99 %-Niveau liegt, als statistisch auffällig und als statistisch signifikant, wenn die Signifikanzgrenze über dem 99 %-Niveau liegt.

Zum Ablesen der Signifikanzgrenze eignet sich aber besser folgende halb-logarithmische Darstellung:

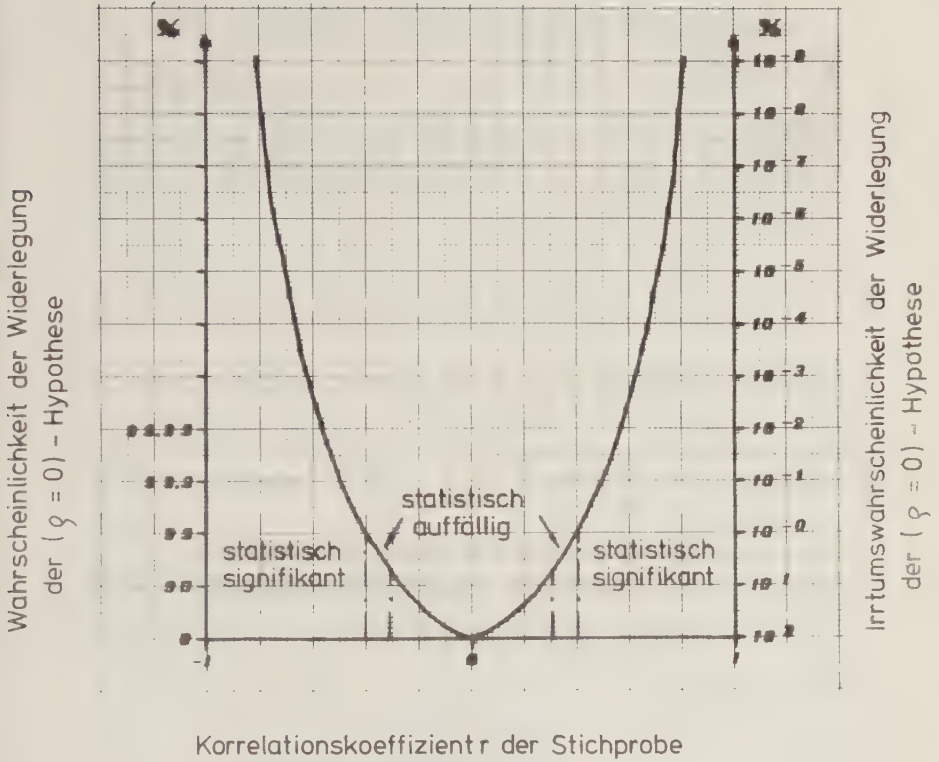


Abb. (4.3.1.4). Signifikanzgrenze des Korrelationskoeffizienten r bei einem Stichprobenumfang von $N = 39$

Aus diesem Diagramm liest man ab, daß bei einem Stichprobenumfang von $N = 39$ Korrelationskoeffizienten r mit $0,32 \leq |r| \leq 0,41$ statistisch auffällig und solche mit $|r| > 0,41$ statistisch signifikant sind.

4. 3. 2. Formeln für multiple und partielle Korrelationskoeffizienten

Sind mehrere Zufallsvariablen miteinander verknüpft, so geben die einfachen Korrelationskoeffizienten (4.3.1.1.) nicht immer ein richtiges und vollständiges Bild von den Abhängigkeiten zwischen den Variablen.

Die Abhängigkeitsstrukturen lassen sich aber mit Hilfe der Berechnung von mehrfachen Korrelationen (multiple und partielle) aufklären.

Bei den Untersuchungen dieser Arbeit wurden die Korrelationen zwischen drei Variablen für alle möglichen Dreierkombinationen unter den Variablen (ausgenommen der Höckerwinkel) berechnet, und zwar nach folgenden Formeln:

Seien x , y und z drei verschiedene gemessene Größen und r_{xy} , r_{xz} und r_{yz} die sich aus den Meßwerten ergebenden Korrelationskoeffizienten (4.3.1.1.).

Dann wird nach

$$(4.3.2.1.) \quad r_{x.y,z} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2 r_{xy} r_{xz} r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}}$$

die multiple Korrelation geschätzt, die angibt, wie stark x von y und z abhängt. Der multiple Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen 0 und + 1 annehmen.

Die multiplen Korrelationskoeffizienten $r_{y.xz}$ und $r_{z.xy}$ erhält man aus (4.3.2.1.) durch entsprechendes Vertauschen der Indizes.

Die multiplen Korrelationskoeffizienten können deutlich größer als die zugehörigen einfachen Korrelationskoeffizienten sein.

Ist z. B. $r_{x \cdot yz}$ sowohl deutlich größer als $|r_{xy}|$ als auch deutlich größer als $|r_{xz}|$, dann hängt x zugleich von y und z ab.

Beispiel: Multipler Korrelationskoeffizient

Der Interincisalwinkel (Variable 5) ist die Summe von Oberkieferincisalwinkel (Variable 2) und Unterkieferincisalwinkel (Variable 4).

Dies spiegelt sich auch in dem multiplen Korrelationskoeffizienten wider.

Es gilt $r_{2,4} = 0,220$, $r_{5,2} = 0,729$, $r_{5,4} = 0,825$

$$r_{5,2,4} = 0,998$$

Neben den multiplen Korrelationen interessieren noch die partiellen Korrelationen, die mit Hilfe des partiellen Korrelationskoeffizienten bestimmt werden.

(4.3.2.2.)

$$r_{x,y \cdot z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1-r_{xz}^2)(1-r_{yz}^2)}}$$

$r_{xz \cdot y}$ und $r_{yz \cdot x}$ erhält man aus (4.3.2.2.) durch entsprechendes Vertauschen der Indizes.

Der partielle Korrelationskoeffizient $r_{xy \cdot z}$, der Werte zwischen - 1 und + 1 annehmen kann, gibt an, wie stark x und y unter der Bedingung, daß z konstant gehalten wird, voneinander abhängen.

Ist $|r_{xy \cdot z}| > |r_{xy}|$, dann nimmt die Abhängigkeit von x und y, wenn z konstant gehalten wird, zu.

Ist dagegen $|r_{xy}| > |r_{xy \cdot z}|$, dann wird die höhere Korrelation x und y durch z vermittelt; die "reine" Korrelation zwischen x und y nach Ausschalten des Einflusses von z ist niedriger.

Bemerkung: Vorzeichenwechsel zwischen einfachem und partiellem Korrelationskoeffizienten ist möglich.

Beispiel: Partieller Korrelationskoeffizient

a) Der Interincisalwinkel ist die Summe von den zur Okklusionsebene bezogenen UK- und OK-Incisalwinkeln.

Der einfache Korrelationskoeffizient zwischen UK- und OK-Incisalwinkel beläuft sich auf $r_{2,4} = 0,220$.

(Indizes = Variablennummern)

Wird der Interincisalwinkel aber konstant gehalten, wird die Abhängigkeit zwischen UK- und OK-Incisalwinkel wesentlich stärker:

$$r_{2,4,5} = - 0,987 (!)$$

Die Bedeutung dieses Effektes macht folgende Zeichnung deutlich (s. Abb. (4.3.2.3)).

Wird der Interincisalwinkel konstant gehalten, muß zwangsläufig der OK-Incisalwinkel kleiner werden, wenn der UK-Incisalwinkel größer wird.



Abb. (4.3.2.3). Die Bedeutung des partiellen Korrelationskoeffizienten an Hand des Beispiels eines konstanten Interincisalwinkels

- b) Die "Brücke" $\angle I \longleftrightarrow \angle OK \longleftrightarrow$ Überbiß (s. 4.3.4.2.3.) kann als Beispiel dafür gelten, wie eine durch den einfachen Korrelationskoeffizienten angedeutete Beziehung verschwindet, wenn eine dritte Größe konstant gehalten wird.

Zur Bestimmung der Konfidenzbereiche der geschätzten mehrfachen Korrelationskoeffizienten der Grundgesamtheit können die Diagramme (4.3.1.2) bis (4.3.1.4), die für die einfachen Korrelationskoeffizienten erstellt wurden, ebenfalls benutzt werden, da der dabei auftretende Fehler unterhalb der Ablesegenauigkeit liegt.

4. 3. 3. Errechnete Korrelationskoeffizienten

Mit Hilfe der Formeln (4.3.1.1), (4.3.2.1) und (4.3.2.2) wurden aus den unter 4.1. vorgestellten Meßwerten die einfachen, multiplen und partiellen Korrelationskoeffizienten berechnet. Die folgende Korrelationskoeffizientenmatrix enthält des Umfangs wegen nur die einfachen Korrelationskoeffizienten.

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN-MATRIX

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0	0.8423	0.0490	0.2788	0.6863	0.7827	0.3658	0.2841	0.6413
2	0.8423	0.0	0.0490	0.2788	0.7290	0.8019	0.3192	0.2841	0.6413
3	0.0490	0.0490	0.0	0.2302	0.4567	0.8019	0.4450	0.3880	0.6413
4	0.2788	0.2302	0.2302	0.0	0.6035	-0.1583	-0.4731	0.3880	0.6413
5	0.6863	0.7290	0.4567	0.6035	0.0	0.1005	-0.2625	-0.2860	-0.1118
6	0.7827	0.8019	0.4567	0.8019	0.0	0.5339	-0.0696	0.0389	0.0981
7	0.3658	0.4424	0.4567	0.1005	0.5339	0.0	0.6331	0.3603	0.4323
8	0.3192	0.4450	0.2625	0.4731	-0.0696	0.6331	0.0	0.4420	0.4739
9	0.2841	0.3880	0.2860	0.3880	0.0974	0.3898	0.4420	0.0	0.4840
10	0.6413	0.6331	0.1118	0.0981	0.4323	0.7193	0.6236	0.6236	0.4259
11	0.6800	0.6509	-0.0211	0.0705	0.4324	0.6665	0.4718	0.4259	0.0
12	0.2607	0.1861	-0.0552	-0.0412	0.0743	0.3692	0.4718	0.4668	0.8005
13	0.2280	0.2301	0.0792	-0.0734	0.3299	0.3060	0.3059	0.2377	0.6041
14	0.2551	0.0501	0.3704	0.2939	0.2191	0.1923	0.3008	0.2527	0.4767
15	0.1387	0.0400	0.2151	0.2939	0.0978	-0.1602	-0.2959	-0.3182	0.1174
16	0.1071	0.1079	0.0959	-0.0827	0.1496	0.0211	0.0211	-0.1864	0.2084
17	0.1996	0.2767	-0.1197	-0.0214	0.1972	0.0461	0.0785	0.3230	0.2450
18	0.2448	0.1702	0.0183	-0.0341	0.3679	0.2587	0.5948	0.3220	0.3196
19	0.2762	0.2712	0.1532	0.0691	0.4258	0.2545	0.0995	0.2771	0.2281
20	0.1903	0.1764	0.2400	0.0126	0.3198	0.1306	0.4036	0.1443	0.2547
21	0.4805	0.5451	0.0625	-0.0126	0.2462	0.1421	0.0217	0.1260	0.2083
22	0.4926	0.4436	0.0625	0.2744	0.5603	0.2997	0.3823	0.2693	0.6037
23	0.3481	0.3903	0.0665	0.1325	0.3646	0.2572	0.0357	0.1156	0.3117
24	-0.0933	0.0029	-0.0045	0.0341	0.2504	0.4248	-0.0357	0.2005	0.4576
25	0.2253	0.2538	0.1462	-0.1506	-0.1232	0.1022	0.2893	0.2986	-0.0013
26	0.3787	0.3560	0.0803	0.0803	0.2002	0.0818	0.1978	0.0793	0.1581
27	0.1570	0.2712	-0.0290	-0.0290	0.5073	0.3771	0.3917	0.3445	0.2904
28	0.1511	0.1697	0.0639	0.2063	0.2508	0.0737	0.1298	0.1099	0.1353
29	0.1145	0.2063	0.1617	0.1617	0.0829	0.0634	0.2343	0.1348	0.0591
30	0.3209	0.3270	0.0719	0.0719	0.2204	-0.0658	0.3357	0.1749	0.2488
31	0.2625	0.1711	-0.3959	-0.0719	0.1351	0.2757	0.3075	0.1351	0.3895
			0.2060	0.2060	0.2443	-0.0837	0.0205	-0.0002	0.1150

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	C. 6808	0.2607	0.2280	0.2551	0.1387	0.1071	0.1996	0.2448	0.2762	0.1903
2	-0.0509	0.1861	0.2301	0.0501	0.0400	0.1079	0.2767	0.1702	0.2112	0.1764
3	-0.0211	-0.0552	0.0792	0.3704	0.2151	0.0959	-0.1197	0.1083	0.1532	0.2400
4	0.0705	-0.0412	-0.0734	0.2939	0.1142	-0.0827	-0.0214	-0.0541	0.0691	-0.0126
5	0.4324	0.0743	0.0776	0.2424	0.1142	-0.0072	0.1429	0.0743	0.2021	0.0859
6	C. 6665	0.3299	0.2191	0.0978	0.1496	0.1972	0.3679	0.4258	0.3198	0.2462
7	0.3692	0.3060	0.1923	-0.1602	0.0211	0.0461	0.2587	0.2545	0.1306	0.1421
8	0.4718	0.3059	0.3008	-0.2959	-0.0813	0.0765	0.5948	-0.0995	0.4036	0.0017
9	0.4668	0.2377	0.2327	-0.3182	-0.1864	0.3230	0.3220	0.2771	0.1443	0.1260
10	0.8005	0.6041	0.4767	0.1174	0.2084	0.2450	0.3196	0.2281	0.2547	0.2083
11	0.0	0.5444	0.5252	0.0733	0.0506	0.4160	0.2786	0.3338	0.2399	0.3112
12	0.5444	0.0	0.7639	0.0957	0.0808	0.1088	0.3790	-0.0257	0.1775	0.1026
13	0.5252	0.7639	0.1716	0.1716	0.0085	0.3216	0.2180	0.0501	0.2762	0.2515
14	0.0733	0.0957	0.0808	0.0	0.4997	0.0273	-0.2062	0.1275	0.2759	0.0273
15	0.0506	0.0808	0.0085	0.0	0.4997	0.0273	-0.0213	0.1047	0.1518	0.1501
16	0.4160	0.1088	0.3216	0.1716	0.1026	0.0	-0.2282	0.5737	0.1147	0.6836
17	C. 2786	0.3790	0.2180	-0.2062	-0.0213	0.5737	0.0	0.0097	0.2036	-0.1122
18	C. 3338	-0.0257	0.0501	0.1275	0.1047	0.1147	0.3826	0.0	0.0705	0.0705
19	0.2399	0.1775	0.2762	0.2759	0.1518	0.6836	-0.1122	0.3685	0.442	-0.1484
20	0.3112	0.1026	0.2515	0.0273	0.1501	0.0	0.0629	0.5053	0.2086	0.5368
21	C. 4316	0.3897	0.3671	0.1694	0.1925	-0.0629	0.3524	0.1137	0.5093	0.1957
22	-0.3703	-0.0317	0.1234	0.3074	0.2223	0.3524	0.0398	0.5858	0.444	0.1790
23	0.3847	0.2319	0.3094	0.2085	0.0778	0.2659	0.1973	0.1666	0.2771	0.1790
24	-0.0129	0.1042	0.1945	0.0406	0.1061	0.2326	0.3533	0.5888	0.4291	0.2189
25	0.2195	-0.0034	0.1582	0.1803	0.1510	0.3186	0.0325	0.5888	0.4291	0.0029
26	0.3109	0.2437	0.1720	0.2225	0.1360	0.1167	0.4032	0.587	0.3960	-0.0029
27	0.0849	-0.1457	-0.0415	0.2235	0.1022	0.3337	-0.1215	0.4680	0.2912	0.1208
28	-0.0416	0.1417	0.0587	0.1110	0.2404	-0.0114	0.4122	-0.0180	0.1328	0.1121
29	0.3563	0.1301	0.4311	0.1975	0.0896	0.5101	0.0186	0.4185	0.342	0.2767
30	0.1628	0.2709	0.1350	0.1713	0.2709	-0.0067	0.3922	0.1336	0.4294	-0.0794
31	0.1996	-0.2819	-0.1592	0.2887	0.2211	0.4075	-0.1419	0.5503	0.1839	0.1778

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN-MATRIX

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0.4805	0.4926	0.3481	-0.0933	0.2253	0.3787	0.1570	0.1511	0.1145	0.3209	0.2625
2	0.5451	0.4436	0.3903	0.0029	0.2538	0.3560	0.2712	0.1697	0.2063	0.3270	0.1711
3	0.0625	0.1286	0.0665	-0.0045	0.1462	-0.0541	0.1691	-0.0707	0.1572	-0.3559	0.2060
4	0.2744	0.1385	0.0341	-0.1506	0.0803	-0.0290	0.2063	0.0039	0.1617	-0.0719	0.2060
5	0.5003	0.3646	0.2504	-0.1232	0.2002	0.1781	0.2906	0.0829	0.2204	0.1351	0.2443
6	0.5603	0.5782	0.4640	0.1032	0.2171	0.5073	0.2568	0.1977	0.1205	0.4287	0.2002
7	0.2997	0.2348	0.4248	0.0818	0.0537	0.3771	0.0737	0.0634	-0.0658	0.2757	-0.0837
8	0.3823	-0.0057	0.2893	0.2943	0.1978	0.3917	0.1238	0.2383	0.3357	0.3075	0.2005
9	0.2693	0.1156	0.2095	0.2986	0.0793	0.3445	0.1099	0.1348	0.1749	0.1351	-0.0002
0	0.6037	0.3117	0.4576	-0.0013	0.1581	0.2904	0.1353	0.0391	0.2488	0.3895	0.1150
1	0.4316	0.3703	0.3847	-0.0129	0.2195	0.3109	0.0840	-0.0416	0.3563	0.1628	0.1996
2	0.3097	-0.0317	0.2319	0.1042	-0.0034	0.2437	-0.1457	0.1417	0.1301	0.2709	-0.3819
3	0.3671	0.1234	0.3054	0.1945	0.1582	0.1720	-0.0415	0.0587	0.4311	0.1350	-0.1592
4	0.1694	0.3074	0.2085	0.0406	0.1803	0.2223	0.2315	0.1110	0.1975	0.2887	0.0887
5	0.1925	0.2223	0.0778	0.1061	0.1510	0.1360	0.1022	0.2404	0.0896	0.1713	0.2211
6	-0.0620	0.3524	0.2659	0.2326	0.3186	0.1167	0.3337	-0.0114	0.5101	-0.0067	0.4075
7	0.5053	0.0398	0.1973	0.3533	0.0325	0.4032	0.1215	0.4122	0.0196	0.3922	-0.1149
8	0.1137	0.5858	0.4444	0.1666	0.5888	0.4587	0.4680	-0.0180	0.4185	0.1336	0.5603
9	0.4442	0.2086	0.5093	0.2771	0.4291	0.3660	0.2312	0.1328	0.3642	0.4294	0.1839
0	-0.1484	0.5368	0.1957	0.1790	0.2189	-0.0029	0.1208	0.1121	0.2767	-0.0794	0.1778
1	0.0	0.3055	0.0660	0.2841	0.2851	0.5881	0.1845	0.1402	0.3084	0.3526	0.2334
2	0.3055	0.0	0.3734	0.1066	0.4033	0.3723	0.3644	-0.0121	0.2102	0.1768	0.4611
3	0.6060	0.3734	0.0	0.2507	0.5275	0.5767	0.4001	0.1027	0.4749	0.3824	0.3142
4	0.2841	0.1066	0.2507	0.0	0.0673	0.5540	0.0571	0.7045	0.1743	0.3381	0.0375
5	0.2851	0.4033	0.5275	0.0673	0.0	0.4122	0.6626	-0.0542	0.6640	0.2613	0.5959
6	0.5881	0.3723	0.5767	0.0673	0.0	0.4211	0.6211	0.4242	0.2042	0.4395	0.2314
7	0.1845	0.3644	0.4001	0.0571	0.4122	0.4211	0.6211	-0.0542	0.2042	0.1889	0.5560
8	0.1402	0.3142	0.1027	0.7045	0.6626	0.4211	0.6211	0.4242	0.2042	0.5539	-0.2010
9	0.3084	0.4611	0.1768	0.3381	0.5959	0.4211	0.6211	0.4242	0.2042	0.0741	0.4526
0	0.3526	0.4611	0.1768	0.3381	0.5959	0.4211	0.6211	0.4242	0.2042	0.0	0.0543
3	0.2334	0.3526	0.4611	0.3381	0.5560	0.4211	0.6211	0.4242	0.2042	0.0543	0.0

4. 3. 4. Diskussion der Ergebnisse der Korrelationsrechnung

4. 3. 4. 1. Elimination nicht korrelierender Variablen

Wegen der Menge der Variablen werden zuerst die besprochen, deren Bedeutung, wie sich durch die Messungen und Korrelationsrechnung herausgestellt hat, gering ist (Var. 12 - 15), um dann im folgenden nur noch Zusammenhänge zwischen den wesentlichen Variablen diskutieren zu müssen. Des weiteren werden zunächst auch die Höcker von der Betrachtung ausgeschlossen.

4. 3. 4. 1. 1. Transversale Kompensationskurve (Var. 14, 15)

Es ergeben sich keine signifikanten Zusammenhänge, außer zwischen dem Winkel auf der rechten und linken Seite, wo sich der Korrelationskoeffizient auf 0,500 beläuft.

4. 3. 4. 1. 2. Tiefe der sagittalen Kompensationskurve (Var. 12, 13)

Die Messung der sagittalen Kompensationskurve durch die Tiefe der Kurve (3. 2.) erweist sich gegenüber der Winkelmessung (3. 3.) als ein wesentlich schlechteres Maß. Dies ist insofern bedauerlich, als die Kurventiefe ein handlicheres Maß darstellt. Signifikante Korrelationen haben sich nur zwischen linker und rechter Seite und zum Winkel der Kompensationskurve ergeben.

4. 3. 4. 2. Diskussion der Variablen des Frontzahnbereiches (Var. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

Variable 1	=	OK-Incisalwinkel (Kfo)
"	2	= OK-" (Occ)
"	3	= UK-" (Kfo)
"	4	= UK-" (Occ)
"	5	= Interincisalwinkel
"	6	= Überbiß
"	7	= Stufe

Schwieriger ist es, eine Entscheidung zu treffen, welches Maß für den Ober- und Unterkieferincisalwinkel geeignet ist (Var. 1, 2, 3, 4).

4. 3. 4. 2. 1. OK- und UK-Incisalwinkel (Var. 1 - 4)

1 : 2 Die Maße für den OK-Incisalwinkel erwiesen sich als recht gleichwertig. Das drückt sich einerseits in dem hohen Korrelationskoeffizienten $r_{1,2} = 0,842$ untereinander und andererseits in den ähnlichen Werten der Korrelation mit den anderen Größen aus.

Der hohe Korrelationskoeffizient dürfte daraus resultieren, daß der Winkel zwischen den beiden Bezugsebenen (Spinaebene, Okklusionsebene) wenig variiert.

3 : 4 Auch zwischen den Unterkieferincisalwinkeln besteht eine signifikante Korrelation, die aber nicht so stark ist wie im Oberkiefer ($r_{3,4} = 0,664$), was mit der größeren Variabilität des Winkels zwischen der Okklusionsebene und dem Mandibularplanum zu erklären ist.

1 : 3 Bemerkenswert ist, daß zwischen den OK- und UK-Incisalwerten
2 : 4 (Kfo) keinerlei Korrelation besteht und auch bei den auf die Okklusionsebene bezogenen Werten sich nur ein Zusammenhang an der Grenze der statistischen Auffälligkeit andeutet.

4. 3. 4. 2. 2. Hinzunahme des Interincisalwinkels I (Var. 5)

Der Interincisalwinkel, der in die Betrachtung mit eingeschlossen wurde, um möglichst viele Einflußmöglichkeiten zu betrachten, zeigt mit den Incisalwinkeln deutliche Korrelationen.

I: Incisalwinkel (Kfo)

$$r_{5,1} = 0,686$$

$$r_{5,3} = 0,457$$

I: Incisalwinkel (Okkl.)

$$r_{5,2} = 0,729$$

$$r_{5,4} = 0,825$$

Die hohen Korrelationskoeffizienten bei dem auf die Okklusions-
ebene bezogenen Winkel beruhen auf folgenden Zusammenhängen:

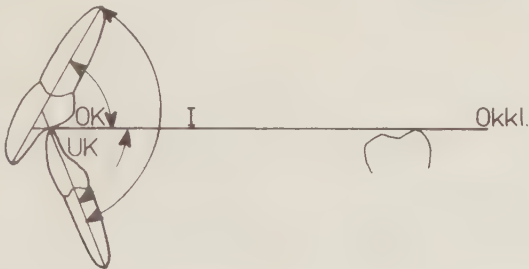


Abb. (4.3.4.2.2.1). Der Interincisalwinkel als Summe von Oberkiefer-
und Unterkieferincisalwinkel

Wie die Zeichnung deutlich macht, ist der Interincisalwinkel die Sum-
me von OK- und UK-Incisalwinkel.

Der multiple Korrelationskoeffizient, der die Abhängigkeit des Inter-
incisalwinkels von den beiden anderen beschreibt, müßte theoretisch
gleich eins sein. In Wirklichkeit ergibt sich ein Wert von $r_{5.2,4} =$
0,998. Die Differenz ist durch Meßfehler zu begründen.

Auch die beiden anderen multiplen und die partiellen Korrelationskoef-
fizienten haben Werte nahezu gleich eins. Bemerkenswert ist, daß der
partielle Korrelationskoeffizient zwischen α UK und α OK bei konstantem
 α I von $r_{2,4} = 0,220$ auf $r_{2,4.5} = - 0,987$ steigt. Dies muß allerdings

nicht verwundern, denn aus $\alpha I = \text{const} = \alpha UK + \alpha OK$ folgt $\alpha OK = \text{const} - \alpha UK$ und weiter daß $r_{2,4.5} = -1$ ist, wenn fehlerfreie Messungen vorliegen.

4.3.4.2.3. Hinzunahme des Überbisses (Var. 6)

- 6 : 3 Zwischen dem UK-Incisalwinkel und dem Überbiß ist keinerlei Korrelation festzustellen. Folgende Skizze macht dies verständlich:

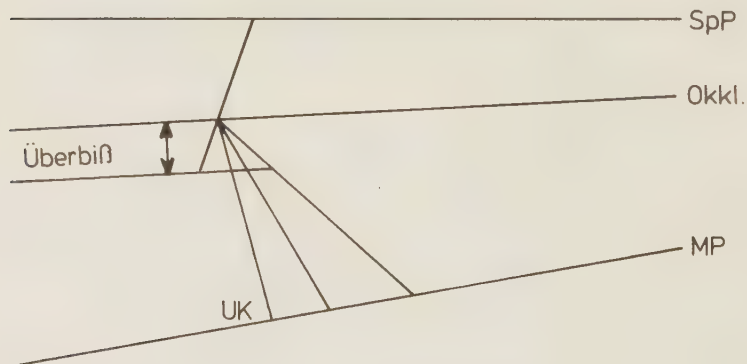


Abb. (4.3.4.2.3.1). Die Größe des Überbisses ist unabhängig von der Größe des Unterkieferincisalwinkels

Die Stellung der Unterkieferincisivi hat bei fixem Kontaktpunkt keinen Einfluß auf die Größe des Überbisses.

- 6 : 1 Dagegen besteht eine starke Abhängigkeit zwischen
 6 : 2 OK-Incisalwinkel und Überbiß.

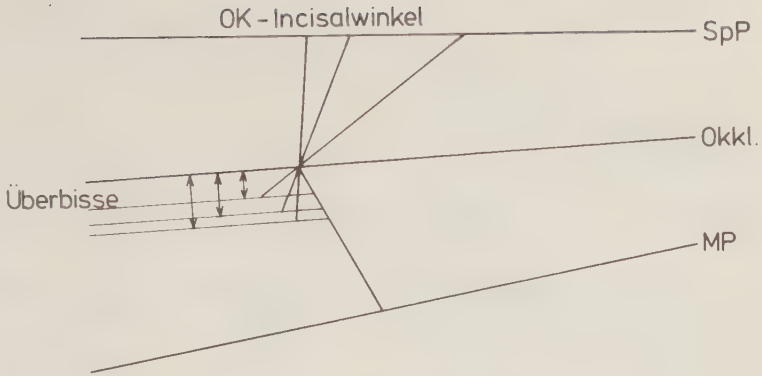


Abb. (4.3.4.2.3.2). Zusammenhang zwischen Oberkieferincisalwinkel und Überbiß

Man sieht, je größer der OK-Incisalwinkel, d. h. je steiler die Stellung der OK-Incisivi, um so größer der Überbiß.

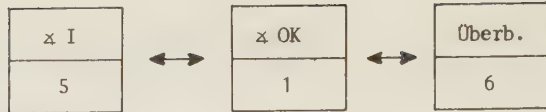
$$r_{1,6} = 0,783$$

$$r_{2,6} = 0,801$$

5 : 6 Auch zwischen dem Interincisalwinkel und dem Überbiß findet sich eine signifikante Korrelation.

Wie hängen nun OK-Incisalwinkel, Interincisalwinkel und Überbiß zusammen?

Mit Hilfe der multiplen und partiellen Korrelationskoeffizienten gewinnt man folgendes Bild:



Korrelations-
koeffizienten

Einfache	$r_{5,1}=0,686$	$r_{6,5}=0,534$	$r_{6,1}=0,783$
Multiple	$r_{5,1,6}=0,686$	$r_{1,5,6}=0,845$	$r_{6,1,5}=0,783$
Partielle	$r_{5,1,6}=0,510$	$r_{6,5,1}=0,007$	$r_{6,1,5}=0,677$

Aus den Werten der multiplen Korrelationskoeffizienten sieht man zunächst, daß die Abhängigkeit des Interincisalwinkels von α OK und Überbiß nicht stärker ist als vom α OK allein. Entsprechend hängt der Überbiß von α OK und Interincisalwinkel nicht stärker ab als von α OK allein. Die daraus resultierende Vermutung, daß der Zusammenhang zwischen Interincisalwinkel und Überbiß nur über die "Brücke" α OK besteht, wird durch den partiellen Korrelationskoeffizienten $r_{6,5,1}$, bei dem der Einfluß von α OK eliminiert ist, bestätigt.

Die Berechtigung der Vorstellung einer "Brückenfunktion" des OK-Incisa-
winkels wird noch erhärtet durch den multiplen Korrelationskoeffizienten $r_{1,5,6}$, der zeigt, daß α OK stärker abhängt vom Interincisalwinkel und Überbiß zusammen als sowohl vom Interincisalwinkel allein als auch vom Überbiß allein.

Definition der Brückenfunktion:



Im folgenden wird von einer Brückenfunktion, kurz "Brücke", gesprochen, wenn zwischen drei Größen x , y und z gilt:

- a) Es bestehen signifikante einfache Korrelationen zwischen den Brückenpfeilern und dem Brückenglied:

$$r_{xy} \text{ und } r_{yz} \text{ signifikant.}$$

- b) Ein Brückenpfeiler hängt nicht wesentlich stärker multipel vom Brückenglied und dem anderen Brückenpfeiler ab als vom Brückenglied allein:

$$r_{x.y,z} \not\gg r_{xy} \text{ und } r_{z.x,y} \not\gg r_{yz}.$$

- c) Die multiple Abhängigkeit des Brückengliedes von beiden Brückenpfeilern zugleich ist größer als von einem Brückenpfeiler allein:

$$r_{y.x,z} > r_{xy} \text{ und } r_{y.x,z} > r_{yz}.$$

- d) Eine evtl. vorhandene einfache Korrelation zwischen den beiden Brückenpfeilern kommt nur über die Abhängigkeit der Brückenpfeiler vom Brückenglied (siehe a)) zustande; sie verschwindet, wenn der Einfluß des Brückengliedes durch Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten ausgeschaltet wird:

$$r_{x,z.y} \text{ nicht statistisch auffällig!}$$

Bemerkung: Jede der drei Größen x , y und z kann die Funktion eines Brückengliedes übernehmen.

4.3.4.2.4. Hinzunahme der Frontzahnstufe (Var. 7)

- 7 : 1 Zwischen dem OK-Incisalwinkel und der Frontzahnstufe ist eine statistisch auffällige Korrelation von $r_{7,1} = 0,366$
- 7 : 2 und $r_{7,2} = 0,413$ festzustellen.
- 7 : 3 Eine stärkere, allerdings negative Korrelation weist der UK-Incisalwinkel mit der Frontzahnstufe auf ($r_{7,3} = - 0,473$
- 7 : 4 $r_{7,4} = - 0,447$).

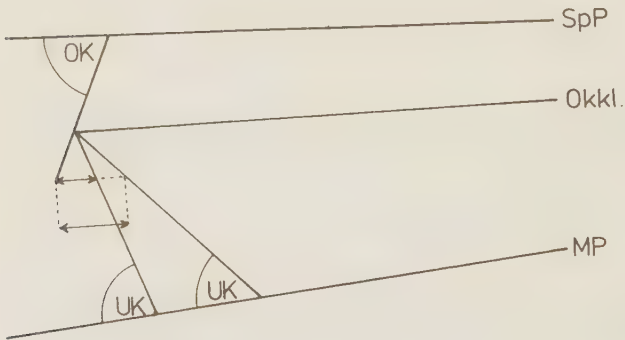


Abb. (4.3.4.2.4.1). Zusammenhang zwischen Unterkieferincisalwinkel und sagittaler Stufe

Das bedeutet, je kleiner der UK-Incisalwinkel ist, d. h. je protrudierter die UK-Incisiivi sind, um so größer ist die Stufe.

- 7 : 6 Zwischen Frontzahnstufe und Überbiß ist eine statistisch signifikante Korrelation von $r_{7,6} = 0,633$ festzustellen, was wiederum durch einen geometrischen Zusammenhang zu erklären ist: Je größer die Stufe ist, um so größer ist auch der Überbiß.

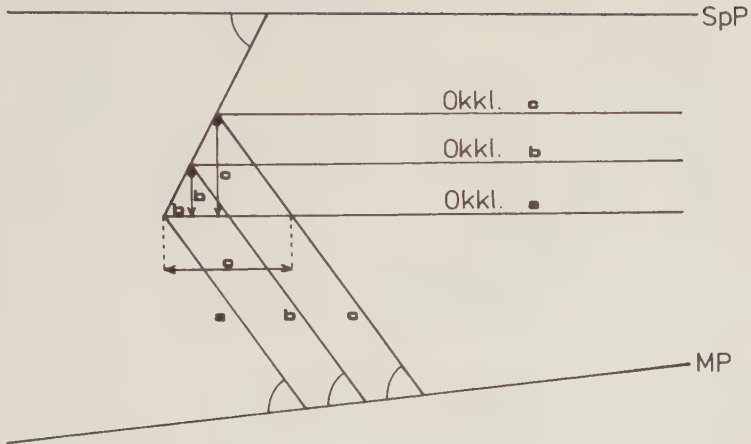
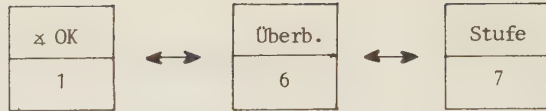


Abb. (4.3.4.2.4.2). Positive Korrelation zwischen Überbiß und sagittaler Stufe

4.3.4.3. Abhängigkeitsstruktur im Frontzahnbereich

Mit einer Überlegung, die analog zu der Diskussion der Zusammenhänge zwischen OK-Incisalwinkel, Interincisalwinkel und Überbiß ist, leitet man zwischen OK-Incisalwinkel, Überbiß und Frontzahnstufe folgende Struktur ab:



Korrelations-
koeffizienten

Einfache	$r_{1,6} = 0,783$	$r_{1,7} = 0,366$	$r_{7,6} = 0,633$
----------	-------------------	-------------------	-------------------

Multiple	$r_{1.6,7} = 0,800$	$r_{6.1,7} = 0,867$	$r_{7.6,1} = 0,667$
----------	---------------------	---------------------	---------------------

Partielle	$r_{1,6.7} = 0,765$	$r_{1,7.6} = -0,299$	$r_{7,6.1} = 0,599$
-----------	---------------------	----------------------	---------------------

Es lassen sich folgende durch die einfachen Korrelationskoeffizienten angegebenen Beziehungen zu einer "Brücke" absichern:



Korrelations-
koeffizienten

Einfache	$r_{6,7} = 0,633$	$r_{6,3} = -0,158$	$r_{3,7} = -0,473$
----------	-------------------	--------------------	--------------------

Multiple	$r_{6.7,3} = 0,653$	$r_{7.6,3} = 0,737$	$r_{3.6,7} = 0,507$
----------	---------------------	---------------------	---------------------

Partielle	$r_{6,7.3} = 0,642$	$r_{6,3.7} = 0,207$	$r_{3,7.6} = -0,487$
-----------	---------------------	---------------------	----------------------

und des weiteren:



Korrelations-
koeffizienten

Einfache	$r_{5,3} = 0,438$	$r_{5,7} = -0,050$	$r_{3,7} = -0,473$
Multiple	$r_{5,3,7} = 0,473$	$r_{3,5,7} = 0,629$	$r_{7,3,5} = 0,504$
Partielle	$r_{5,3,7} = 0,470$	$r_{5,7,3} = 0,198$	$r_{3,7,5} = -0,502$

Faßt man die bisherigen Überlegungen zusammen, so lassen sich die Abhängigkeitsstrukturen der bisher analysierten Größen folgendermaßen darstellen:

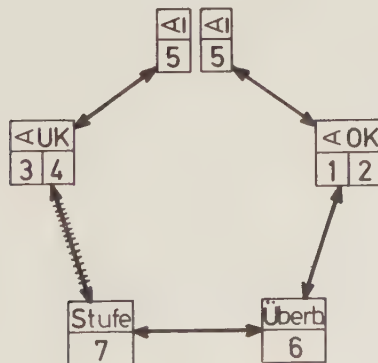


Abb. (4.3.4.3.1). Die Hauptzusammenhänge (Brücken) zwischen den fünf Größen des Frontzahnbereiches

 positive Korrelationen
 negative Korrelationen

Dieses Strukturbild ist wie folgt zu interpretieren:

1. Zwischen zwei Größen, die mit einem Pfeil verbunden sind, besteht eine signifikante Korrelation.
2. Für jede Größe besteht eine multiple Korrelation zu ihren beiden Nachbargrößen; d. h. der multiple Korrelationskoeffizient ist jeweils stärker signifikant als die beiden einfachen Korrelationskoeffizienten.
3. Jede Größe (außer x_1) übt mit ihren beiden Nachbargrößen die Funktion einer "Brücke" aus, d. h. bei Konstanzhaltung dieser Größe verschwindet die Korrelation zwischen den beiden Nachbargrößen.

Die Abhängigkeitsstruktur zwischen diesen fünf Größen ist aber weit komplexer. Bei Betrachtung der partiellen Korrelationskoeffizienten stellt man fest:

1. Der partielle Korrelationskoeffizient zwischen zwei benachbarten Größen unter Konstanzhaltung der gegenüberliegenden Größe ist deutlich größer als der einfache Korrelationskoeffizient zwischen den benachbarten Größen.

Ausnahme: $r_{1,6.3}$ bzw. $r_{2,6.4}$.

2. Der partielle Korrelationskoeffizient zwischen zwei benachbarten Größen unter Konstanzhaltung einer anliegenden Größe ist nicht auffällig größer als der einfache Korrelationskoeffizient zwischen den benachbarten Größen.

Ausnahmen: $r_{1,5.3}$ und $r_{3,5.1}$

bzw. $r_{2,5.3}$ und $r_{4,5.3}$

Die Bedeutung der Ausnahmen von beiden Regeln ist unmittelbar einzusehen.

Daß die Abhängigkeit des Überbisses vom OK-Incisalwinkel unabhängig von der Größe des UK-Incisalwinkels besteht, ist direkt den Abbildungen (4.3.4.2.3.1) und (4.3.4.2.3.2) zu entnehmen.

Daß die Abhängigkeit des Interincisalwinkels vom OK-Incisalwinkel bzw. vom UK-Incisalwinkel bei Konstanthaltung des jeweils dritten Winkels zunimmt, liegt an der Verknüpfung dieser drei Winkel über die Summenbeziehung (4.3.4.2.2.1).

Die durch den partiellen Korrelationskoeffizienten angezeigte Verstärkung der Beziehung zwischen zwei benachbarten Größen bei Konstanthaltung der gegenüberliegenden läßt sich ebenfalls gut deuten.

Man betrachte z. B. für $r_{4,7.2}$ Abb. (4.3.4.2.4.1), bei der die Beziehung zwischen α UK und Stufe erläutert wird und der OK-Winkel bereits als konstant eingezeichnet ist, und für $r_{6,7.5}$ die Abb. (4.3.4.2.4.2), bei der der OK- und UK-Winkel, also auch der Interincisalwinkel, bereits als konstant eingezeichnet sind.

Trägt man in das Strukturbild (4.3.4.3.1) an den Korrelationspfeilen die Nummer der Größen ein, bei deren Konstanthaltung sich die Korrelation verstärkt, erhält man folgendes Bild:

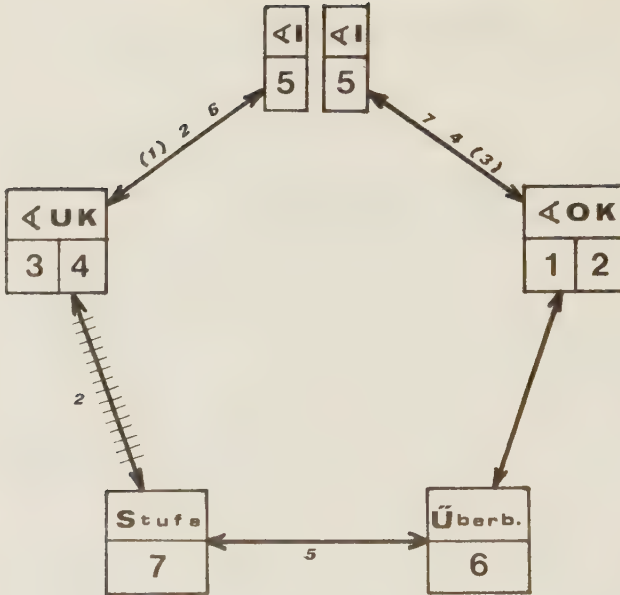


Abb. (4.3.4.3.2). Verstärkung der Hauptzusammenhänge zwischen den fünf Größen des Frontzahnbereiches aufgrund partieller Korrelationen

Die partiellen Korrelationskoeffizienten bringen aber auch weiteres Licht in die Abhängigkeitsstrukturen.

Zwischen dem UK-Incisalwinkel und dem Überbiß wird durch den einfachen Korrelationskoeffizienten $r_{4,6} = 0,101$ keine Beziehung angedeutet. Hält man aber den Interincisalwinkel konstant, so ergibt der partielle Korrelationskoeffizient $r_{4,6.5} = -0,713$ eine sehr starke Abhängigkeit.

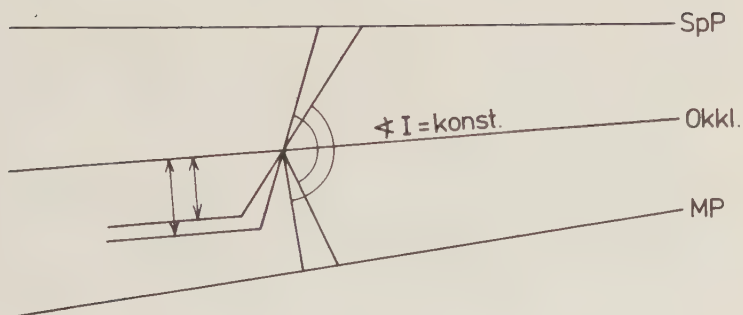


Abb. (4.3.4.3.3). Zusammenhang zwischen Unterkieferincisalwinkel und Überbiß bei Konstanthaltung des Interincisalwinkels

Dies ist nur eine von vielen partiellen Korrelationen.

Analog zu Bild (4.3.4.3.2) werden alle partiellen Korrelationen in einem Diagramm eingetragen:

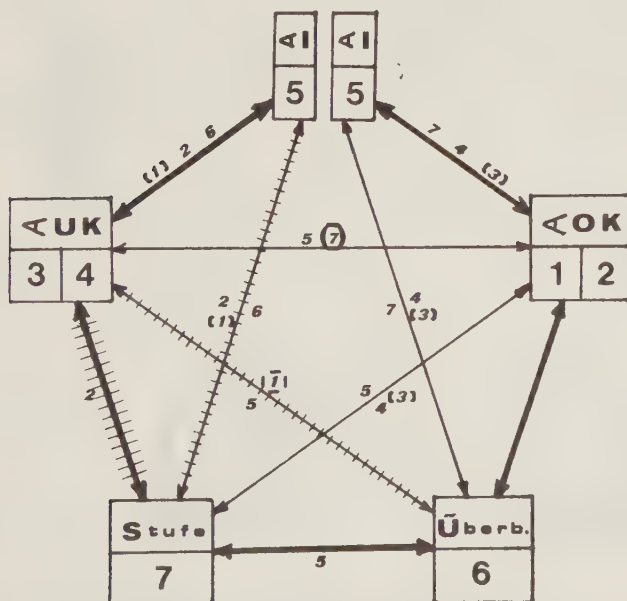


Abb. (4.3.4.3.4). Erweiterung der Abb. (4.3.4.3.2) um partielle Korrelationen, die nicht als einfache Korrelationen auftreten

Legende:

(7) gilt nur für $2 \leftrightarrow 4$

|1| gilt nur für $3 \leftrightarrow 6$ (aber schwach: $r_{3,6.1} = -0,316$)

(1), (3) weniger deutlich als 2,4; siehe auch (4.3.4.3.1) und (4.3.4.3.5).

Da die auf die Okklusionsebene bezogenen UK- und OK-Incisalwinkel (Var. 2 und 4) durchweg bessere Korrelationskoeffizienten liefern als die Kfo-Winkel (Var. 1 und 3), werden diese im folgenden nicht mehr berücksichtigt. Zieht man jetzt noch die multiplen Korrelationskoeffizienten hinzu, läßt sich ein vollständiges Bild der komplizierten Abhängigkeitsstruktur angeben.

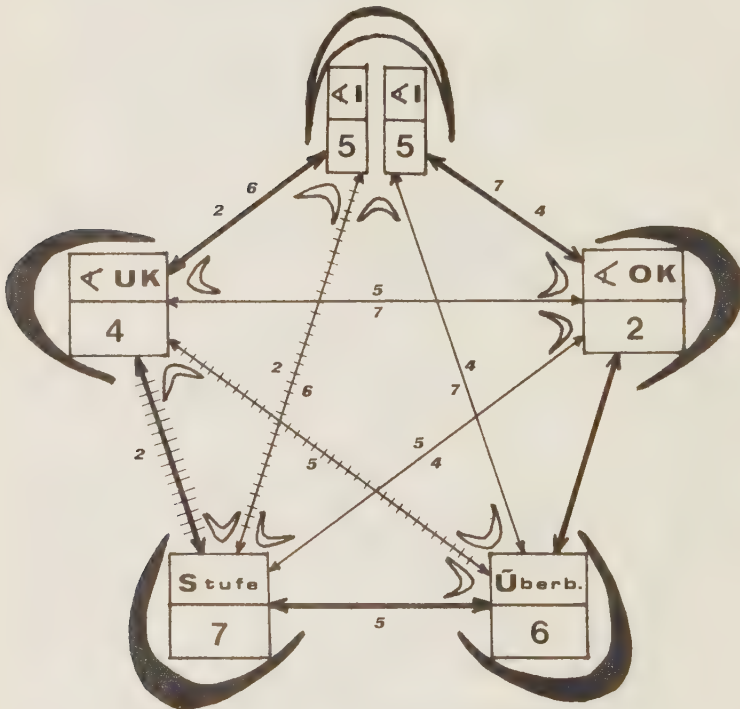


Abb. (4.3.4.3.5). Strukturbild aller einfachen, multiplen und partiellen Korrelationen zwischen den fünf Größen des Frontzahn-bereiches

Legende:

 positive
 negative

} einfache Korrelation, die an "Brücken" beteiligt ist, bei Konstanthaltung irgend einer Größe nicht verschwindet, aber durch Konstanthaltung der angegebenen Größe verstärkt wird.

 positive
 negative

} partielle Korrelation, die bei Konstanthaltung der angegebenen Größe in Erscheinung tritt.



Die so bezeichnete Größe steht in einer "Brücken"-beziehung zu den beiden Nachbargrößen, auf die die beiden Pfeilenden zeigen (s. auch (4.3.4.3.1)).



Die so bezeichnete Größe hängt multipel (keine Brücke!) von den beiden Nachbargrößen ab, auf die die beiden Pfeilenden zeigen.

4. 3. 4. 4. Diskussion aller Variablen mit Ausnahme der Höcker

4. 3. 4. 4. 1. Hinzunahme des Winkels der sagittalen Kompensationskurve (Variable 10, 11)

Bevor mit der Diskussion der Beziehungen des sagittalen Winkels mit den bisher diskutierten Variablen begonnen wird, soll die bisher bearbeitete Struktur vereinfacht werden.

Wie bereits unter 4.3.4.2.2., gilt für die auf die Okklusionsebene bezogenen Incisalwinkel

$$\alpha I = \alpha OK + \alpha UK.$$

Aus den Werten von αOK und αUK ergibt sich der Wert von αI . Der Interincisalwinkel liefert also keine neue Information und kann somit als unwesentliche Variable eliminiert werden.

Diese Überlegung ist auch auf die kieferorthopädischen Incisalwinkel zu übertragen, denn es gilt:

$$\alpha OK_{Okk1} = \alpha OK_{Kfo} - \alpha_1$$

$$\alpha UK_{Okk1} = \alpha UK_{Kfo} - \alpha_2 \quad \text{mit}$$

α_1 = Winkel zwischen Okklusionsebene und Spinaebene

α_2 = Winkel zwischen Okklusionsebene und Mandibularplanum

Daraus folgt

$$\alpha I = (\alpha OK_{Kfo} - \alpha_1) + (\alpha UK_{Kfo} - \alpha_2)$$

Typisch für solche "Summen"-Abhängigkeiten ist, daß sowohl alle multiplen als auch alle partiellen Korrelationskoeffizienten größer sind als die einfachen.

Nach Hinzunahme des sagittalen Winkels bietet die Korrelationsrechnung folgende Ergebnisse:

Zwischen linker und rechter Seite besteht eine
10 : 11 Korrelation von $r_{10,11} = 0,801$.

Da die Mittelwerte von $\bar{x}_{10} = 13,228$ und $\bar{x}_{11} = 12,846$ ähnlich sind und die Korrelationsrechnung für rechts und links ähnliche Werte ergibt, sollen der Übersichtlichkeit halber links und rechts zusammen als sog. "sagittaler Winkel" betrachtet werden.

10 : 4 Zwischen dem sagittalen Winkel und dem UK-Incisalwinkel
11 : 4 ist keinerlei Korrelation festzustellen.

10 : 2 Ganz anders verhält es sich im Oberkiefer. Hier besteht
11 : 2 ein Korrelationskoeffizient von $r_{10,2} = 0,634$,
 $r_{11,2} = 0,651$.

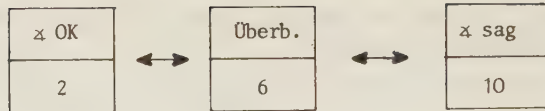
Die auf die Spinaebene bezogenen OK-Incisalwinkel weisen sogar noch bessere Werte auf: $r_{10,1} = 0,641$, $r_{11,1} = 0,681$. In die Betrachtung sollen aber der Einheitlichkeit halber die auf die Okklusionsebene bezogenen Werte eingehen.

10 : 7 Zwischen Stufe und dem sagittalen Winkel besteht eine
11 : 7 Korrelation von $r_{10,7} = 0,474$, $r_{11,7} = 0,369$.

Wesentlich signifikanter ist die Korrelation zum Überbiß $r_{10,6} = 0,719$,
 $r_{11,6} = 0,667$.

Daß auch der OK-Incisalwinkel, wie oben schon erwähnt ist, mit der Kompensationskurve korreliert ist, resultiert sicher aus der starken Beziehung zwischen ihm und dem Überbiß $r_{6,2} = 0,802$.

Die Untersuchung mit multiplen und partiellen Korrelationskoeffizienten liefert folgendes Ergebnis:



Korrelations-
koeffizient

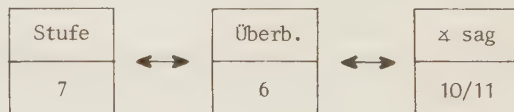
Einfacher	$r_{2,6} = 0,802$	$r_{10,2} = 0,634$	$r_{6,10} = 0,719$
-----------	-------------------	--------------------	--------------------

Multipler	$r_{2.6,10} = 0,806$	$r_{6.2,10} = 0,847$	$r_{10.2,6} = 0,726$
-----------	----------------------	----------------------	----------------------

Partieller	$r_{2,6.10} = 0,644$	$r_{10,2.6} = 0,139$	$r_{6,10.2} = 0,456$
------------	----------------------	----------------------	----------------------

Die starke Korrelation zwischen OK-Incisalwinkel und sagittalem Winkel verliert bei Konstanthaltung des Überbisses ganz ihre Bedeutung.

Der Überbiß gewinnt weiterhin noch Bedeutung in dem Verhältnis des sagittalen Winkels zu der Frontzahnstufe, wo er ebenfalls eine Brückenfunktion übernimmt.



Eine besondere Stellung nimmt die Beziehung zwischen UK-Incisalwinkel, Stufe und sagittalem Winkel ein. Die Korrelationsrechnung ergibt, daß die multiplen und partiellen Korrelationskoeffizienten in allen Fällen gegenüber den einfachen sich erhöhen. Es handelt sich somit wieder um eine Summen-Abhängigkeit (s. 4.3.4.4.1), bei der eine Größe als unwesentlich eliminiert werden kann.

Es wird der UK-Incisalwinkel weggelassen, da er die schwächste Bindung an alle anderen Größen hat.

Faßt man die bisherigen Untersuchungen der Beziehungen des sagittalen Winkels zu den anderen Größen zusammen, so erhält man folgendes Strukturbild:

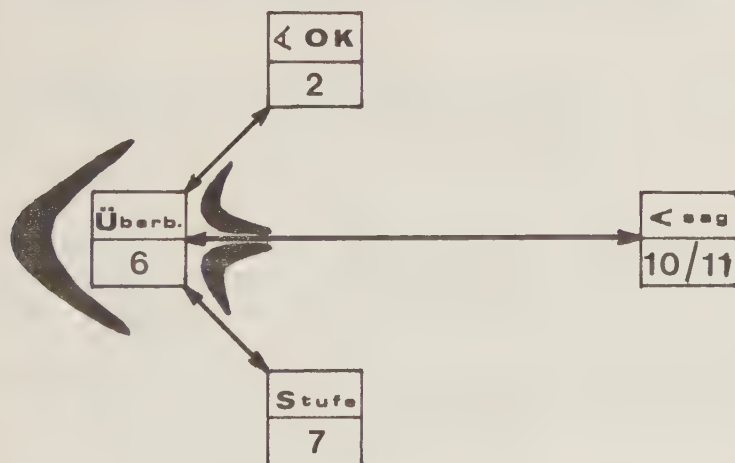


Abb. (4.3.4.4.1.2). Hauptzusammenhänge zwischen den wesentlichen Variablen des Frontzahngebietes und der sagittalen Kompensationskurve

Legende:



Positive einfache Korrelation, die an "Brücken" beteiligt ist.



Die so bezeichnete Größe steht in einer "Brückenbeziehung" zu den beiden Nachbargrößen, auf die die beiden Pfeilenden zeigen.

Der Überbiß ist somit die einzige Größe, die die Verbindung mit der Kompensationskurve herstellt.

4. 3. 4. 4. 2. Hinzunahme der Kondylenbahnneigung (Variable 8, 9)

Die Kondylenbahnneigungen rechts und links werden als eine Größe zusammengefaßt. Die Begründung ist analog zu der bei den sagittalen Winkeln.

8 : 2	Zwischen der Kondylenbahnneigung und dem OK-Incisal-
9 : 2	winkel (Schneidezahnführung) besteht ein Korrelations-
	koeffizient von $r_{10,2} = 0,445$, $r_{11,2} = 0,388$.

Bemerkenswert ist, daß die beiden Winkel, obwohl sie auf die gleiche Ebene bezogen sind, nicht von der gleichen Größenordnung sind. Vielmehr ist der OK-Incisalwinkel im Mittel etwa doppelt so groß wie der Kondylenbahnwinkel (Var. 2 = 66° ; Var. 8, 9 = 34°). Das zeigt, daß bei der Protrusionsbewegung mit Schneidezahnkontakt noch eine Rotationsbewegung stattfindet (siehe auch 28).

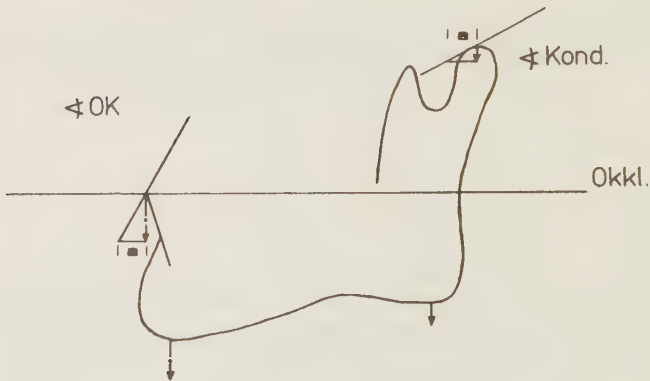


Abb. (4.3.4.4.2.1). Notwendige Rotation bei der Protrusionsbewegung

8 : 7 Die Frontzahnstufe hat mit der Kondylenbahn
 9 : 7 einen signifikanten Korrelationskoeffizienten
 von $r_{8,7} = 0,403$, $r_{9,7} = 0,442$,
 8 : 6 während der Überbiß nur mit statistischer Auf-
 9 : 6 fälligkeit mit der Kondylenbahn korreliert
 $r_{8,6} = 0,390$, $r_{9,6} = 0,360$.

Wie zu erwarten war, besteht zwischen Kondylenbahn und dem sagittalen Winkel 8, 9 : 10, 11 eine positive Korrelation:

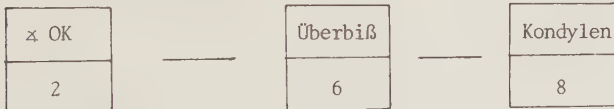
$$\begin{array}{ll} r_{8,10} = 0,484 & r_{8,11} = 0,472 \\ r_{9,10} = 0,426 & r_{9,11} = 0,467 \end{array}$$

Die Tiefe der Kompensationskurve zeigt keine auffälligen statistischen Zusammenhänge.

Es fällt auf, daß die Korrelationen, die die Kondylenbahn mit den anderen Variablen eingehen, im Mittel wesentlich schwächer sind als die der anderen Größen untereinander.

Die Untersuchung der besprochenen Variablen mit Hilfe von multiplen und partiellen Korrelationskoeffizienten ergibt folgendes:

Aus der Dreierbeziehung



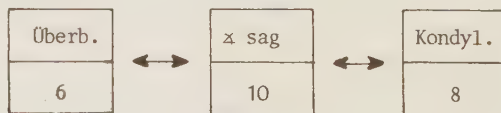
Korrelations-
koeffizienten

Einfache	$r_{2,6} = 0,802$	$r_{8,2} = 0,445$	$r_{6,8} = 0,381$
Multiple	$r_{2,6,8} = 0,815$	$r_{6,2,8} = 0,803$	$r_{8,2,6} = 0,449$
Partielle	$r_{2,6,8} = 0,762$	$r_{8,2,6} = 0,241$	$r_{6,8,2} = 0,062$

resultiert eine verstärkte Beziehung durch die Berechnung der multiplen, aber die partielle Korrelationsrechnung hält nur noch die Beziehung 2 - 6 aufrecht, während die anderen Beziehungen bei Konstanthaltung von 2 bzw. 6 gänzlich verschwinden.

Ein analoges Ergebnis erhalten wir bei der Dreierbeziehung 6 - 7 - 8 = Stufe - Überbiß - Kondylenbahn. Auch hier wird durch die partielle Korrelation nur das vorhandene Strukturbild bestätigt, und die schwächeren Korrelationen zur Kondylenbahn werden aufgehoben.

Die Dreierbeziehung:



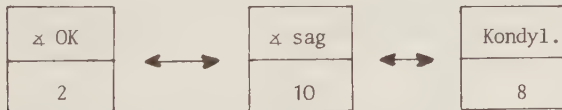
stellt dann die "Brücke" zur Kondylenbahn dar.

Korrelations-
koeffizienten

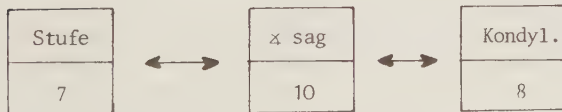
Einfache	$r_{6,10} = 0,714$	$r_{8,6} = 0,390$	$r_{10,8} = 0,484$
Multiple	$r_{6,10,8} = 0,721$	$r_{10,8,6} = 0,753$	$r_{8,6,10} = 0,488$
Partielle	$r_{6,10,8} = 0,659$	$r_{8,6,10} = 0,069$	$r_{10,8,6} = 0,318$

Allerdings ist zu beachten, daß der Wert, der vom sagittalen Winkel und der Kondylenbahn bei Konstanthaltung des Überbisses gebildet wird, nur statistisch auffällig ist. Ähnliche Werte liegen auch auf der rechten Seite vor (6, 11, 9).

Schließlich findet man noch schwach ausgeprägte "Brücken" vor bei:



und



die aber vermutlich verschwinden, wenn der Überbiß konstant gehalten wird. Diese Vermutung stützt sich auf die frühere Feststellung, daß die Korrelationen zwischen dem sagittalen Winkel und dem OK-Incisalwinkel und zwischen dem sagittalen Winkel und der Frontzahnstufe nicht mehr vorhanden sind, wenn der Überbiß konstant ist.

4. 3. 4. 5. Die Abhängigkeitsstrukturen der wesentlichen Variablen sind im folgenden Strukturbild zusammengefaßt.

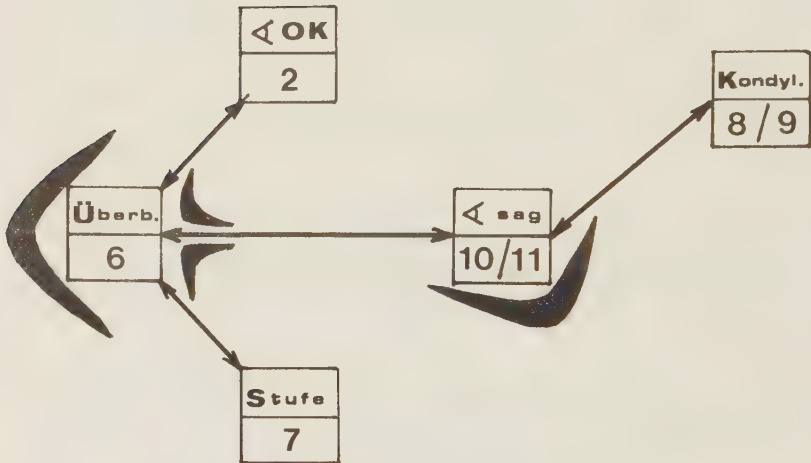
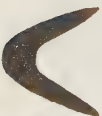


Abb. (4.3.4.5.1). Die Abhängigkeitsstruktur der wesentlichen Variablen

Legende:



Positive einfache Korrelationen, die an "Brücken" beteiligt sind.



Die so bezeichnete Größe steht in einer "Brückenbeziehung" zu den beiden Nachbargrößen, auf die die Pfeilenden zeigen.

4. 3. 4. 6. Statistische Auswertung der sagittalen Höckerwinkel

Wie schon bei der Auswahl der Praemolaren zur Meßgröße der Höckerwinkel erwähnt wurde, ist darauf hinzuweisen, daß die Höckerwinkel in einem Gebiß großen Schwankungen unterworfen sind. Man kann somit nicht sagen, der Patient hat eine Höckerneigung von z. B. 28° oder nur flache oder nur steile Höcker.

Die Mittelwerte der einzelnen Höckerwinkel lassen vielmehr erkennen, daß sie nach distal hin flacher werden. Dies wird auch noch durch die Beobachtung bestätigt, daß die Molaren so flach sind, daß sie nicht mehr der idealen Kegelform nahe kommen und so auf diese Weise nicht meßbar sind.

Aus den Mittelwerten ist weiterhin zu erkennen, daß die mesialen Höckerwinkel eines Zahnes steiler sind als die distalen, was im Oberkiefer besonders stark ausgeprägt ist.

re.				li.			
23,7	33,7	27,3	36,9	38,9	25,0	34,8	22,2
5 d	5 m	4 d	4 m	4 m	4 d	5 m	5 d
5 d	5 m	4 d	4 m	4 m	4 d	5 m	5 d
24,2	26,5	27,8	31,6	30,1	30,9	26,9	25,7

Standardabweichung siehe Tab. (4.2.2.1).

Die Korrelationsrechnung läßt weitere Zusammenhänge zwischen den Höckern erkennen.

Zwischen den mesialen bzw. den distalen Höckerwinkeln eines Quadranten bestehen signifikante Korrelationen.

Zahn mesial/distal	Zahn mesial/distal	Korrelations- koeffizient
14 m	15 m	0,574
14 d	15 d	0,383
24 m	25 m	0,537
24 d	25 d	0,606
34 m	35 m	0,554
34 d	35 d	0,663
44 m	45 m	0,554
44 d	45 d	0,453

Weiterhin sind signifikante Korrelationen zwischen gleichnamigen Höckerwinkeln der rechten und linken Seite eines Kiefers festzustellen.

Zahn mesial/distal	Zahn mesial/distal	Korrelations- koeffizient
14 m	24 m	0,684
14 d	24 d	0,505
15 m	25 m	0,586
15 d	25 d	0,509
34 m	44 m	0,705
34 d	44 d	0,665
35 m	45 m	0,440
35 d	45 d	0,556

Da zwischen den mesialen bzw. distalen Höckerwinkeln eines Quadranten und auch zwischen gleichnamigen Höckerwinkeln rechts und links Korre-

lationen bestehen, sind, wenn auch zum Teil nur statistisch auffällig, Korrelationen zwischen den mesialen bzw. distalen Höckern von Vier der einen mit Fünf der anderen Seite und umgekehrt zu finden.

Zahn	Zahn	Korrelations- koeffizient
14 m	25 m	0,352
14 d	25 d	-
15 m	24 m	0,369
15 d	24 d	0,444
34 m	45 m	0,338
34 d	45 d	0,596
35 m	44 m	0,424
35 d	44 d	0,388

Das folgende Bild zeigt die Verzahnung der Praemolaren beim Neutralbiß:

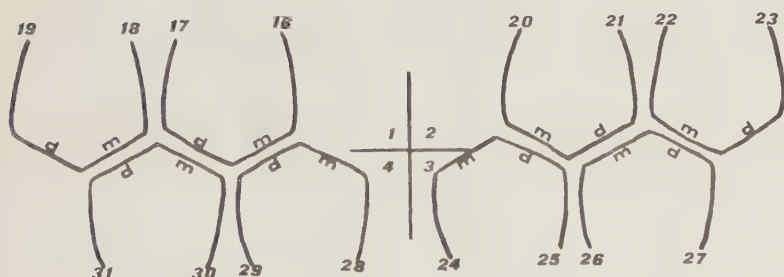


Abb. (4.3.4.5.1). Variablenbezeichnung der Praemolarenhöcker

Bei der Protrusionsbewegung gleiten die mesialen Abhänge der unteren Fünfer an den distalen der oberen Vierer. Daß diese aneinandergleitenden Flächen korrelieren, wird bestätigt.

Da, wie oben erwähnt, die mesialen bzw. distalen Abhänge eines Quadranten miteinander korrelieren, findet man noch zusätzliche Korrelationen.

Protrusion	24 d - 35 m	0,588	14 d - 45 m	0,392
------------	-------------	-------	-------------	-------

Zusätzlich	25 d - 35 m	0,577	15 d - 45 m	0,429
------------	-------------	-------	-------------	-------

Beim Gleiten aus der RKP (retrudierte Kontaktposition) berühren sich die mesialen Abhänge der oberen Praemolaren mit den distalen der unteren. Diese Beziehung wird, bis auf eine Ausnahme, durch die Korrelationsrechnung bestätigt. Auch hier liefert die statistische Berechnung wieder Korrelationen, die durch Korrelationen der mesialen bzw. distalen Höckerwinkel eines Quadranten bedingt sind.

Zahn	Zahn	Korrelationskoeffizient	
14 m	44 d	0,510	RKP
14 m	45 d	0,408	
15 m	45 d	0,560	RKP
15 m	44 d	0,419	
24 m	34 d	-	RKP
24 m	35 d	-	
25 m	35 d	0,364	RKP
25 m	34 d	0,403	

Welche Zusammenhänge bestehen nun zwischen den Höckerwinkeln und den anderen Variablen?

Von den 16 Variablen der Höcker sind es immer folgende, die mit den anderen Variablen korrelieren:

Var.		Zahn $\frac{m}{d}$	Var.		Zahn $\frac{m}{d}$
17	=	14 d	19	=	15 d
21	=	24 d	23	=	25 d
26	=	35 m			
30	=	45 m			

Es handelt sich hierbei um die Höckerabhänge, die sich bei der Protrusionsbewegung berühren, und um die distalen Abhänge der oberen zweiten Praemolaren, die auch mit den unteren mesialen Abhängen der Fünfer korrelieren.

Die stärkste Korrelation ist mit dem Überbiß (6) zu finden, der ja auch mit den meisten anderen Variablen sehr stark korreliert.

$$r_{17,6} = 0,368$$

$$r_{19,6} = 0,320$$

$$r_{21,6} = 0,560$$

$$r_{23,6} = 0,464$$

$$r_{26,6} = 0,507$$

$$r_{30,6} = 0,429$$

Der Oberkieferincisalwinkel, die Kondylenbahn und die Kompensationskurve korrelieren, wenn auch meist nur statistisch auffällig, auch mit eben diesen Höckerwinkeln. Diese Beziehungen sind aber nicht so eindeutig, da die Korrelationen nicht einheitlich für alle diese Höckerwinkel bestehen.

5. VERGLEICH DER EIGENEN ERGEBNISSE MIT DENEN AUS DER LITERATUR BEKANNTEN

5. 1.

In der Literatur treten verschiedene Auffassungen über eine ideale Okklusion und Artikulation auf. Sie alle sind aufgebaut auf den Gründern der klassischen Artikulationslehre von ANGLE, GYSI und HANAU.

Ein halbes Jahrhundert als Dogma anerkannt, werden sie in den letzten zwanzig Jahren aufgrund klinischer Beobachtungen und wissenschaftlicher Untersuchungen angezweifelt (RAMFJORD, 18).

REICHENBACH gibt in seinem Artikel "Was ist geblieben?" (19) eine Bilanz der klassischen Artikulationslehre.

GYSI (5, 6) postuliert einen strengen Zusammenhang zwischen Kiefergelenk, Schneidezahnführung und Höckerverlauf, die die Kaubewegungen bestimmen.

Auch SPRENG (24) weist auf die Bedeutung der Gelenk- bzw. Zahnführung hin.

BALTERS (1) aber sieht die Bewegungen nicht durch Gelenk und Gebiß diktiert, sondern durch die Funktion "im Sinne der Koordination aller Bewegungen bewirkenden Elemente".

In seinem Buch "Funktionelle Prothetik" gelangt WILD (27) zu der Erkenntnis, daß die Kaubahn die Gelenkbahn weit mehr beeinflußt als umgekehrt, da das Kiefergelenk eine beträchtliche Anpassungsfähigkeit besitzt, die offenbar durch den Discus bedingt ist. Im Rahmen der Untersuchung der Kaubahnen kommt er zu dem Schluß, daß beim unbewußt-reflektorischen Kauen keine sagittalen, sondern nur transversale Reibebewegungen gemacht werden und sagittale Bewegungen nur beim Abbeißen erfolgen.

Auch KÖRBER (12, 13) sieht die Führungselemente der Artikulation nicht im Gelenk, sondern im Kauflächenverlauf. Er stützt seine Aussage auf die Untersuchungen EICHNERS, der mit Hilfe röntgen-kinematographischer Untersuchungen zeigt, daß in Abhängigkeit von der Kauflächengestalt verschiedene Bewegungen des Kondylus zu beobachten sind.

STEINHARDT (25) zieht aus der Erkenntnis, daß das Kiefergelenk von der Kauflächenstruktur beeinflusst wird, die Konsequenz und nimmt keine Gelenkbahnmessungen mehr vor.

Auf der 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Berlin 1971 einigte man sich auf folgende Formulierung: "Daß die Gleitflächen der Zähne während des Zahnkontaktes führen".

Die bisher aufgeführten Meinungen über Zusammenhänge zwischen Gelenkbahn und Kaufläche gehen in ihren Aussagen über die Frage hinaus, ob überhaupt Zusammenhänge bestehen. Sie enthalten vielmehr eine Aussage über Ursache und Wirkung.

Um jedoch zu einem solchen Schluß kommen zu können, muß zuerst geklärt sein, ob Zusammenhänge bestehen und wie diese gegebenenfalls aussehen. Diese Frage steht aber durchaus noch offen.

Auch RAMFJORD (18) sagt: "Unglücklicherweise gibt es keine generelle Einigung darüber, wie die ideale Beziehung zwischen den die Okklusion bestimmenden Faktoren aussieht."

In der vorliegenden Arbeit wurden mehrere dieser Faktoren an eugnathen Gebissen gemessen und auf ihre Zusammenhänge überprüft.

5. 2. Diskussion der Kompensationskurve

SPEE (23) war der erste, der in der bogenförmigen Aufstellung der Seitenzähne, sagittale Kompensationskurve, einen Kreisbogen sah, dessen Mittelpunkt in der Augenhöhle oder darüber liegen kann.

Auch in den eigenen Untersuchungen wurde bei der Berechnung der Kompensationskurve bestätigt, daß sie einem Kreisbogen sehr nahe kommt. Mit Hilfe der GAUSS'schen Methode wurde durch alle Höcker- spitzen vom Eckzahn bis zum zweiten Molaren ein Kreis gelegt. Die mittlere Abweichung der Höckerspitzen innerhalb eines Gebisses von diesem Kreisbogen beträgt im Durchschnitt (über alle Fälle) nur 0,2 mm, während sich die maximale Abweichung im Durchschnitt auf 0,5 mm beläuft.

Als Maß der Kompensationskurve wurde in dieser Arbeit der sagittale Winkel (3.3) und nicht der Krümmungsradius verwendet, da dieser von der Lage der Höckerspitzen nicht linear abhängt. Da der Radius aber mitberechnet werden mußte, kann man ihn wenigstens zum Vergleich der von SPEE gemessenen Werte heranziehen.

Der Mittelwert des Krümmungsradius beträgt links 8,5 cm und rechts 9,0 cm. Der Mittelpunkt des Kreises liegt so etwa in Schläfen- bzw. Stirnhöhe.

Es ist darauf zu achten, daß es sich hier um den Mittelwert eines Kollektivs von eugnathen Gebissen handelt.

Die gefundenen Werte decken sich mit denjenigen von PROTHERO (aus M. MÜLLER, 15) und durchaus auch mit denen von SPEE, da dieser den Mittelpunkt ja nicht nur in der Augenhöhle, sondern auch darüber fand.

Eine weitere Angabe von SPEE, daß die Gelenkbahn und die Kompensationskurve den gleichen Radius und den gleichen Mittelpunkt haben (23), ist eine viel diskutierte Hypothese.

CHRISTENSEN (2) behauptet, die Gelenkbahn liege zumindest stets parallel zur Kompensationskurve.

Max MÜLLER (15) bestreitet nicht nur diese Allgemeingültigkeit, sondern sogar die Proportionalität zwischen Gelenkbahn und Okklusionskurve (Kompensationskurve). Er meint, durch nichts die Verkehrtheit dieses Proportionalitätsgesetzes besser zeigen zu können als durch zwei gegenteilige Beispiele. Daß diese Methode kein gegenteiliger Beweis ist, erscheint klar; denn man kann nicht mit zwei Beispielen einen Gegenbeweis über eine Aussage, die einen Nommittelwert betrifft, führen.

Anders geht SCHRÖDER (aus 28) vor, der aufgrund zahlreicher Untersuchungen keine gesetzmäßige Proportionalität zwischen Gelenkbahnneigung und Kompensationskurve findet.

GYSI sieht den Mittelpunkt, um den die kreisförmige Bewegung des Unterkiefers stattfindet, dem SPEE'schen Mittelpunkt gerade gegenüber. Seine Begründung liegt in dem Vorhandensein des Überbisses. Stellt aber andererseits "das Finden dieses Mittelpunktes als einen wissenschaftlichen Sport hin, wie das Suchen nach dem Nordpol der Erde."

Den Namen "Kompensationskurve" hält GYSI für falsch und billigt ihr nur den Namen "Hülfskurve" zu, da diese nicht allein bei der Protrusionsbewegung den Überbiß kompensiert und somit ein Kontakt im Molarenbereich erzielt wird, sondern daß auch die Höcker noch eine wesentliche Rolle dabei spielen.

Diese Hilfsfunktion der Höcker soll nicht abgestritten werden und ist wahrscheinlich.

GYSI gibt drei Möglichkeiten zur Messung der Kompensationskurve an:

1. Durch die Tiefe der Einsenkung in Millimetern unter die Kauebene;
2. Durch die Länge des zugehörigen Radius;
3. Durch den Winkel, unter welchem sie in die Kauebene einmündet.

Er selbst hat die letzte Methode gewählt. Sie ist insofern als nicht so günstig zu betrachten, da nur die Stellung des letzten Molaren in das Maß der Krümmung eingeht und ein Stellungsfehler dieses einen Zahnes, z. B. Elongation, eine Aussage über den ganzen Quadranten macht.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß in dieser Arbeit die Höckerspitzen von Drei bis einschließlich Sieben in das Maß der Kompensationskurve eingehen und somit die Krümmung des ganzen Zahnbogens berücksichtigt wird, und - wie aus der Messung folgt (mittlerer Abstand vom Kreisbogen = 0,2 mm) - kommt sie einem Kreisbogen sehr nahe. In anderen Untersuchungen, in denen auch der Kreisbogen gemessen wurde, gehen auch die Frontzähne in die Messung ein.

Da aber die Frontzähne nahezu senkrecht zur Protrusionsrichtung stehen, erscheint ihre Hinzunahme nicht sinnvoll. Zudem stehen die unteren Einser, Zweier und Dreier im Idealfall auf einer Ebene und verfälschen somit insofern das Maß für die Krümmung der Kurve, da durch ihre Einbeziehung im frontalen Bereich eine Streckung der Kurve resultieren würde.

Die Messung durch die Tiefe der Einsenkung, die GYSI als erste Methode angegeben hat, wurde in dieser Arbeit auch durchgeführt, indem der Abstand des zweiten Praemolaren zur Okklusionsebene gemessen wurde, da man durch diese Messung wesentlich leichter zu einem Maß für die Kompensationskurve gelangt. Die Korrelationsrechnung zeigt aber deutlich schwächere Abhängigkeiten als bei der Messung des Kompensationswinkels.

Sicher ist zu bemängeln, daß die Berechnung des Kompensationswinkels sehr aufwendig ist, aber zu einer wissenschaftlichen Untersuchung über Zusammenhänge geeignet.

5. 3. Diskussion des Überbisses

Über den Schneidezahnüberbiß sagt GYSI aus, daß er ein wichtiger Faktor für die Bewegungen des menschlichen Unterkiefers sei und die Stellung aller übrigen Zähne unter seinem Einfluß stehe.

Zusammen mit dem Überbiß sei die Neigung der oberen Schneidezähne zu beachten. Über das durchschnittliche Maß des Überbisses bei seinen Untersuchungen gibt er aber keine Werte an.

Der Mittelwert der eigenen Untersuchungen beträgt 3,8 mm. Bei einer Standardabweichung von 1,2 liegt der Mittelwert der Grundgesamtheit mit 99,73 % Wahrscheinlichkeit zwischen 3,28 und 4,45 mm, während ein Überbiß von 1,5 mm als ideal angesehen wird.

Daß dieses Kollektiv aber mit dem Grad des Überbisses nicht aus der Reihe derer fällt, die eine physiologische Okklusion haben, wird auch von anderer Seite bestätigt.

SCHRÖDER (aus 28) sieht beim modernen Kulturmenschen den großen Überbiß als sekundäre Erscheinung im Sinne fortschreitender Degeneration des menschlichen Gebisses an.

Auch WILD (27) räumt bei der prozentualen Verteilung der Bißarten dem Tiefbiß den größeren Raum ein.

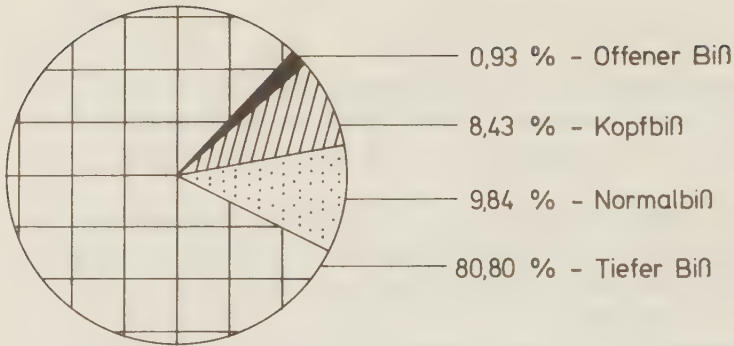


Abb. (5.3.1). Prozentuale Verteilung der Bißarten nach WILD (27)

Die Untersuchungen über Gelenkbahn und Schneidezahnführung lassen sich mit denen von GYSI gut vergleichen.

5. 4. Diskussion der Gelenkbahn

GYSI (5) findet Gelenkbahnwinkel zwischen 5° - 54° , während bei den vorliegenden Untersuchungen Schwankungen zwischen 20° - 54° vorkommen und sich der Konfidenzbereich des Mittelwertes zwischen 30° - 38° beläuft.

GYSI stellt fest, daß 50 % seiner Patienten rechts und links eine nahezu gleiche Gelenkbahnneigung mit einer Differenz von 0° - 4° haben und die restlichen 50 % eine Differenz von 5° - 22° . Bei dem hier vorliegenden Probandengut findet man bei 42 % eine Differenz von 0° - 4° und bei 58 % eine von 5° - 12° . Der Mittelwert der Differenz beläuft sich auf $5,4^{\circ}$.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Gelenkbahn ergibt ebenfalls ähnliche Ergebnisse (GYSI 33° , eigene Untersuchungen links $33,4^{\circ}$ und rechts $34,4^{\circ}$).

Auch Mittelwertartikulatoren haben eine festgelegte Gelenkbahn von 33° bzw. 34° .

5. 5. Diskussion der Schneidezahnführung

Will man einen Vergleich über die Schneidezahnführung antreten, so ist zu bedenken, daß GYSI den Winkel zwischen Okklusionsebene und Palatinalfläche gemessen hat, während hier der Winkel zwischen Okklusionsebene und Zahnachse in die Berechnung eingeht.

Selbst die Okklusionsebene ist nicht gleich definiert. GYSI legt eine Ebene auf die Höckerspitzen der Oberkieferzähne von dem Eckzahn beginnend, während in dieser Arbeit die Okklusionsebene des Unterkiefers aus dem Fernröntgenbild gewonnen wurde (s. 3.1.2. und 3.10.).

Aus diesen Gründen ist zu verstehen, daß der Mittelwert der Schneidezahnführung von 66° etwas über dem von GYSI liegt, der eine Spanne von 50° - 70° angibt.

5. 6. Diskussion der sagittalen Höckerwinkel

Vergleiche über sagittale Höckerwinkel liegen nicht vor. GYSI mißt den transversalen Öffnungswinkel. Die Kompensationsflächen von einzelnen Höckern liegen nur als Beispiele vor.

Daß die Molarenhöcker einer besonders starken Abrasion unterliegen, zeigt auch DE BOER (3), der vom ersten Molaren ab eine starke Abrasion der Höcker findet.

WILD (27) zeigt in seinem Buch "Funktionelle Prothetik" Abbildungen, bei denen besonders im Molarenbereich des Unterkiefers starke Abrasionen anzutreffen sind. Er sieht im vollbezahnten Gebiß in der Regel eine "iniciales buccale Abrasion", die dann später in die "Abrasio ad platum" übergeht.

Auch GYSI zeigt im Zusammenhang mit dem Öffnungswinkel eine stärkere buccale Abrasion der unteren Zähne. Diese halten ja auch zusammen mit den oberen palatinalen die zentrale Okklusion und bei transversalen Bewegungen auf der Arbeitsseite den Kontakt und werden deshalb mehr abgenutzt.

5. 7. Betrachtung der HANAU'schen Quint

Schon 1926 veröffentlichte R. L. HANAU in seinem Artikel "Articulation defined, analyzed and formulated" (7) die ein eugnathes Gebiß bestimmenden Artikulationsgesetze.

An Hand der Artikulationsquint läßt sich die Abhängigkeit jeweils einer Größe von einer anderen unter Konstanthaltung der restlichen drei ablesen. (Siehe Abb. (5.7.1).)

Die Gesetze der HANAU'schen Quint hat THIELEMANN in folgender handlicher Formel zusammengefaßt, die aber nicht als Rechenformel fehlinterpretiert werden darf:

$$\frac{\text{Kondylenbahn} \times \text{Schneidezahnführung}}{\text{Höckerhöhe} \times \text{Kompensationskurve} \times \text{Ebene}} = \text{const}$$

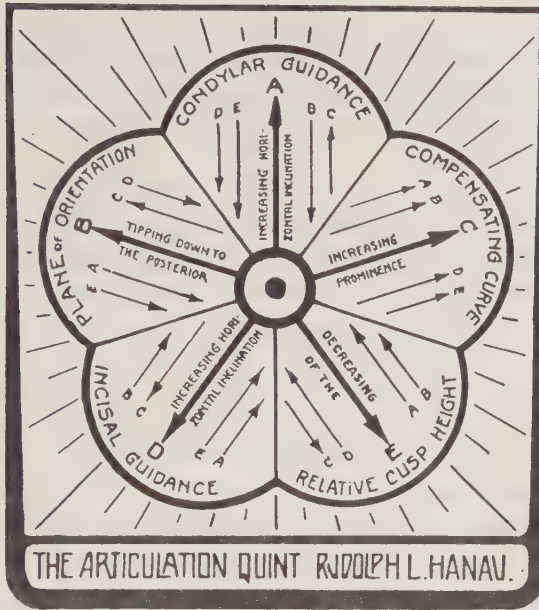


Abb. (5.7.1). Die Artikulationsquint von R. L. HANAU (7).
Weitere Erklärung siehe Text.

Die fünf Komponenten der HANAU'schen Quint erhält man aus der THIELEMANN'schen Formel, indem man diese nach der Größe auflöst, die bei der Betrachtung im Vordergrund steht.

$$Z. B. \quad \text{Kondylenbahn} = \frac{\text{Höckerhöhe} \times \text{Komp.} \times \text{Ebene}}{\text{Schneidezahnführung}}$$

Daraus folgt, daß die Kondylenbahn positiv korreliert ist mit Höckerhöhe, Kompensationskurve und Ebene, aber negativ mit der Schneidezahnführung.

Hierbei fällt auf, daß die Korrelation zwischen Kondylenbahn und Schneidezahnführung gerade umgekehrt ist wie bei den eigenen Untersuchungen.

Hierbei muß es sich aber nicht um einen Widerspruch handeln, und zwar dann nicht, wenn HANAU als Schneidezahnführungswinkel den Winkel betrachtet, der zu dem in dieser Arbeit gemessenen komplimentär ist, d. h. sich zu 180° ergänzt.

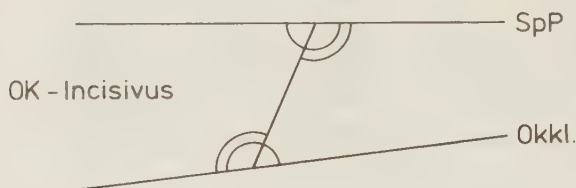


Abb. (5.7.2). Messung des Oberkieferincisalwinkels

- * eigene Messung
- # nach HANAU (hypothetisch)

Leider lassen sich die Ergebnisse der beiden Arbeiten nicht vergleichen, da HANAU in seiner Veröffentlichung keine Definition bzw. Meßmethode für die Größen angibt.

Des weiteren ist festzustellen, daß HANAU zu seinen Ergebnissen nicht aufgrund eigener Messungen gekommen ist, sondern durch eigene Betrachtungen und klärende Gespräche mit Kollegen, wie er es selbst in einer Fußnote bemerkt: "These laws were formulated without experimental data on hand. They should be carefully rechecked by investigators. The original draft of these laws was modified after consulting with Drs. A. E. BOYCE, C. J. R. ENGSTROM, F. W. FRAHM, R. R. GILLIS, Alfred GYSI, A. A. NELSON, R. O. SCHLOSSER, Victor H. SEARS and W. H. WRIGHT."

Setzt man voraus, daß HANAU in seiner Arbeit den oben angeführten Winkel betrachtet, so finden sich seine Vorstellungen für Gelenkbahn, Kompensationskurve und Schneidezahnführung durch die Messungen dieser Arbeit bestätigt.

Auch auf dem 6. Europäischen Zahnärztlichen Fortbildungskongreß 1974 unterstellt KOBES (11), angelehnt an LUNDEEN, die Abhängigkeiten zwischen Gelenkbahn, Höckerhöhe und Kompensationskurve so, wie sie schon HANAU postulierte.

WEISS (26) sieht einen bestimmten Zusammenhang zwischen der Gelenkbahn und der Kompensationskurve und im geringen Grad zwischen dem Überbiß und der Kompensationskurve. Die hier durchgeführten Untersuchungen ergaben gerade zwischen Überbiß und Kompensationskurve einen besonders hohen Korrelationskoeffizienten.

Zu ganz gegensätzlichen Erkenntnissen gelangt Max MÖLLER (15) in seinen Leitsätzen:

"Die Steilheit der Gelenkbahn und die Tiefe des Frontzahnunterbisses stehen nicht in einander bedingendem proportionalen Verhältnis.

Der Frontzahnüberbiß ist im natürlichen Gebiß nicht proportional der Krümmung der Okklusionskurve."

Auch NEVAKARI (16) gelangt durch seine Untersuchungen zu einer der HANAU'schen Quint entgegengesetzten Auffassung. Er findet zwischen Gelenkbahn und Incisalwinkel und zwischen Gelenkbahn und Überbiß keine Korrelationen.

Hierzu kann festgestellt werden, daß durch die eigenen Untersuchungen zwischen den bei NEVAKARI betrachteten Größen durchaus Korrelationen nachgewiesen werden konnten. Diese bewegen sich allerdings nur im Bereich der statistischen Auffälligkeit bis knapp über die Grenze der statistischen Signifikanz.

Der Unterschied in den Ergebnissen könnte darin begründet sein, daß für die eigene Arbeit ein besonders ausgesuchtes Kollektiv eugnather Gebisse vorlag.

Wichtiger als diese direkten Beziehungen ist die Erkenntnis, daß in diesem Zusammenhang die sagittale Kompensationskurve eine Schlüssel-funktion einnimmt.

Wie unter (4.3.4.4.2) nachgewiesen wurde, werden die schwachen Korrelationen zwischen Kondylenbahn und Oberkieferincisalwinkel und Überbiß nur über die sagittale Kompensationskurve hergestellt und verschwinden bei Konstanthaltung der Kompensationskurve gänzlich.

5. 8. Anregung zur Aufklärung von Abhängigkeiten

Die hier vorliegende Arbeit umfaßt die Betrachtung einer Zeitspanne. Das heißt, es wurden nach Untersuchung eines bestimmten Kollektivs einer kleinen Altersspanne Zusammenhänge gefunden.

Um zu einer weitergehenden Aussage über Ursache und Wirkung zu gelangen, reicht der Umfang der Arbeit nicht aus. Hierzu wäre es notwendig, mehrere Gruppen verschiedenen Alters auf die gleiche Weise zu untersuchen, um dadurch zu einer Aufstellung einer Zeitreihe zu gelangen.

An Hand dieser Unterlagen wäre es dann wahrscheinlich möglich, Änderungen bzw. Abhängigkeiten definieren zu können.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Auch heute noch ist in der wissenschaftlichen Literatur durchaus umstritten, welche Faktoren auf welche Weise eine ideale Artikulation bestimmen.

Es wird deshalb mit dieser Arbeit der Versuch unternommen, auf der Grundlage eigener Messungen und Untersuchungen zu klärenden Aussagen über das Artikulationsproblem zu gelangen, allerdings mit der Beschränkung der Artikulation auf reine Protrusionsbewegungen.

Die Messungen wurden an 39 Probanden durchgeführt, die ein Alter von 18 - 30 Jahren hatten und über ein eugnathes Gebiß verfügten, und umfassen folgende Größen: OK-Incisalwinkel, UK-Incisalwinkel, Interincisalwinkel, Frontzahnüberbiß, Frontzahnstufe, Kondylenbahn, sagittale und transversale Kompensationskurve und die sagittalen Höckerwinkel der Prämolaren.

Für die sagittale Kompensationskurve wird ein neues Maß angegeben, das nicht - wie die bekannten Meßmethoden - nur 3 Höckerspitzen berücksichtigt, sondern alle buccalen Höcker der Zähne Drei bis Sieben, woraus eine geringere Empfindlichkeit gegenüber einer anormalen Stellung einzelner Zähne resultiert. Dieses Maß führt denn auch zu erheblich deutlicheren Aussagen als ein zu Vergleichszwecken benutztes Maß, das GYSI vorgeschlagen hatte.

Die Untersuchung der wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den Größen wurde mit Hilfe von korrelationsstatistischen Rechnungen (multipl., partiell) durchgeführt und ergab folgende Struktur:

- Der transversalen Kompensationskurve kommt bei der Protrusionsbewegung keine Bedeutung zu.
- Der Interincisalwinkel hat als Summe von UK- und OK-Incisalwinkel keinen eigenständigen Aussagewert.

- Die Neigung der UK-Incisivi ist relativ belanglos und wird zudem noch bei der Frontzahnstufe implicit berücksichtigt.
- Auch die Neigungswinkel der sagittalen Höckerflächen scheinen nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, obwohl die Höckerwinkel untereinander Gesetzmäßigkeiten aufweisen. Sie haben nennenswerte Korrelationen aber nur zum Überbiß.
- Starke positive Korrelationen zeigen sich dagegen zwischen OK-Incisalwinkel, Frontzahnstufe, Frontzahnüberbiß, sagittaler Kompensationskurve und Kondylenbahn; daraus ergibt sich z. B., daß bei einem eugnathen Gebiß mit großem Frontzahnüberbiß die sagittale Kompensationskurve stark gekrümmt und die Kondylenbahn steil geneigt ist.

Unter diesen fünf Größen nimmt der Überbiß eine zentrale Stellung ein. Mit ihm korrelieren unmittelbar OK-Incisalwinkel, Stufe und sagittale Kompensationskurve. Beziehungen zwischen den drei letztgenannten Größen sind nicht "echt"; sie entstehen nur aufgrund ihrer gemeinsamen Abhängigkeit zum Überbiß.

Ähnlich verhält es sich mit den (allerdings nicht sehr ausgeprägten) Zusammenhängen zwischen der Kondylenbahn und den Größen des Frontzahnbereiches. Diese werden vorgetäuscht durch die gemeinsame Abhängigkeit zur sagittalen Kompensationskurve und verschwinden daher bei einem Probandengut mit konstanter sagittaler Kompensationskurve fast völlig.

- Die Aussagen der HANAU'schen Quint werden im wesentlichen bestätigt.

7. LITERATUR

1. BALTERS, W.:
Die Bedeutung von Zahnverlust und Zahnersatz für den Patienten -
von der Psychologie her gesehen.
Dt. zahnärztl. Z. 5, 465 - 468 (1956)
2. CHRISTENSEN, C.:
The problem of bite.
Dental Cosmos 1905, S. 1184
3. DE BOER, J. G.:
Die physiologische Abrasion des menschlichen Gebisses.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 67, 113 - 130 (1957)
4. GERBER, A.:
Registriertechnik für Prothetik, Okklusionsdiagnostik, Okklusions-
therapie.
Offset-Druck by Condylator Service, Zürich Juli 1970
5. GYSI, A.:
Beitrag zum Artikulationsproblem.
Verlag von August Hirschwald, Berlin 1908
6. GYSI, A.:
Einige Bemerkungen zu Prof. Dr. F. ACKERMANN's Replik.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 53, 819 - 870 (1943)
7. HANAU, R. L.:
Artikulation, Defined, Analyzed and Formulated.
J. Amer. dent. Ass. 12, 1694 - 1709 (1926), Buffalo - New York
8. HASELOFF, HOFMANN:
Kleines Lehrbuch der Statistik.
4. Auflage 1970, de Gruyter-Verlag Berlin
9. HENGST, Martin:
Einführung in die Mathematische Statistik und ihre Anwendung.
B I-Hochschul Taschenbücher 42/42 a, 1967 Mannheim
10. HUPFAUF, L.:
Kolloquium über das 1. Hauptverhandlungsthema "Die funktionelle
Gebissanalyse".
Dt. zahnärztl. Z. 26, 225 - 227 (1971)

11. KOBES, L.:
Kaufunktion und Kaufläche.
Der freie Zahnarzt. Monatsschrift Deutscher Zahnärzte
18, 6. Ausg., 380 - 384 (1974)
12. KÖRBER, E.:
Abrasion und Artikulationsbewegung.
Dt. zahnärztl. Z. 12, 1486 - 1490 (1957)

Die Speesche Kurve.
Dt. zahnärztl. Z. 13, 936 - 946 (1958)
13. KÖRBER, E.:
Funktionelle Gebißanalyse.
Dt. zahnärztl. Z. 26, 98 - 105 (1971)
14. KOLLER, S.:
Neue grafische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen.
4. Auflage 1968 Darmstadt
15. MÜLLER, M.:
Grundlagen und Aufbau des Artikulationsproblems im natürlichen
und künstlichen Gebisse.
Dr. Werner Klinkhardt Verlag, Leipzig 1925
16. NEVAKARI, K.:
Alalevan toiminnallinen protrusioliike.
Suom. Hammastääk. Toim H. 2, 94 - 120 (1958)
17. POSSELT, U.:
Physiology of occlusion and rehabilitation.
Blackwell, Oxford 1964, 2. Ausg.
18. RAMEJORD, S. R.:
Die Voraussetzungen für eine ideale Okklusion.
Dt. zahnärztl. Z. 26, 106 - 113 (1971)
19. REICHENBACH, E.:
Was ist geblieben? Versuch einer Bilanz der sogenannten klassi-
schen Artikulationslehre.
Dt. zahnärztl. Z. 16, 1109 - 1122 (1961)
20. SACHS, L.:
Statistische Auswertungsmethoden.
3. Auflage 1972
21. SCHMUTH, G. R. F.:
Befunderhebung und Systematik.
Praxis der Zahnheilkunde Band IV, D 3, Verlag Urban & Schwarzen-
berg, München 1968

22. SCHWARZ, A. M.:
Die Röntgendiagnostik.
Verlag Urban & Schwarzenberg, Wien - Innsbruck 1958
23. SPEE, F., Graf:
Die Verschiebepathie des Unterkiefers am Schädel.
Arch. f. Anat. u. Phys. 1890
24. SPRENG, M.:
Die künstliche Zahnreihe beim Zahnlosen.
Prakt. Zahnmed. 1, Birkhäuser Verlag, Basel - Stuttgart 1960
25. STEINHARDT, G.:
Die Bedeutung der Kiefergelenkforschung für die totale Prothese,
insbesondere für die Forderung nach individueller Gelenkbahn-
registrierung.
Dt. zahnärztl. Z. 11, 853 - 837 (1956)
26. WEISS, O. A.:
The Practical Application of the Principles of the Bonwill
Articulation.
Dental Review 1903, S. 818
27. WILD, W.:
Funktionelle Prothetik.
Benno Schwabe & Co. Verlag, Basel 1950
28. Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.
Ein Handbuch für die zahnärztliche Praxis.
Band 1, Hrsg. Wilhelm Meyer u. a., Verlag Urban & Schwarzenberg,
München - Berlin 1958

Es ist mir ein Bedürfnis, an dieser Stelle meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. K. FUHR, für die fachliche und menschliche Unterstützung recht herzlich zu danken.

Ferner bedanke ich mich bei allen, die mir bei der Anfertigung dieser Arbeit behilflich waren.

R. Schraidt-Hofmann

LEBENS LAUF

Am 11. November 1948 wurde ich als dritte Tochter des Zahnarztes Alfred Hofmann und seiner Ehefrau Therese geb. Gall in Hanau geboren.

Von 1955 - 1960 besuchte ich die Volksschule in Hanau. 1960 wechselte ich in die Karl-Rehbein-Schule, ein Gymnasium für Mädchen, über, wo ich im mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig am 18. Juni 1968 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1968/69 begann ich an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz das Studium der Zahnmedizin.

Am 9. Oktober 1969 legte ich dort die naturwissenschaftliche Vorprüfung für Zahnmediziner ab, die zahnärztliche Vorprüfung folgte am 30. März 1971.

Am 24. Mai 1972 heiratete ich den Diplom-Mathematiker Rainer Schraidt. Nach bestandenem Staatsexamen erlangte ich am 22. November 1973 die Approbation als Zahnärztin.

Seit dem 1. Januar 1974 bin ich als Assistentin in der Prothetischen Abteilung der Zahn-, Mund- und Kieferklinik der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz tätig.

